赢在会学——高中物理

（必修1　必修2）

主　编　王邦平
编　者　任伟然　范鸿飞　杜以梅
　　于万堂　张　勇　徐　晶

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书根据高一学生的认知特点，把枯燥、刻板的说教变成学习伙伴之间的交流、互动，让孩子们在视、听、做的体验中激发兴趣；在读书、交流中学习；在规范操作中养成习惯；在归纳、总结中感悟；在考试、改错中提高。即教学生用科学的方法学习物理，使物理学习进入一种良性循环的状态。这是一本适合高一学生学习物理用的辅导书和物理老师教学用的参考书。

随本书附送的仿真实验光盘，包含了书中所有仿真实验，供学生、老师参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

赢在会学. 高中物理. 必修1、必修2 / 王邦平主编. — 北京 : 电子工业出版社，2010.7
ISBN 978-7-121-11386-4

Ⅰ. ①赢… Ⅱ. ①王… Ⅲ. ①物理课—高中—教学参考资料 Ⅳ. ①G634

中国版本图书馆CIP数据核字（2010）第138046号

策划编辑：蔡 葵
责任编辑：沈桂晴 文字编辑：刘文杰 周 彤
印 刷：
装 订：
出版发行：电子工业出版社
北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036
开 本：787×1092 1/16 印张：26.25 字数：655千字
印 次：2010年7月第1次印刷
定 价：46.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

序

拿到《赢在会学——高中物理（必修 1　必修 2）》的书稿，眼前一亮，这的确是一本与众不同的、能辅助学生学好高中物理的课外参考书。

首先，它不是繁难的题海，也不是只给出知识结论的工具书。它通过性格各异、思维水平不同的几名学生与身为物理学家的老师的对话，呈现出对物理问题逐步完善的认识过程。以学生尚不成熟乃至错误的认识为起点，经过师生共同观察、实验找证据，分析、推理讲道理，最后得到正确的认识。现代学习理论认为，只有经历这样的思维过程，学生才能达到对知识真正的理解。不仅如此，这本书还带领读者回顾课堂上老师带领同学们研究物理问题的过程，反思其中采用了哪些方法以及那种方法的合理性，是对课堂教学的重要补充，能帮助学生理解物理学的研究方法，提高学生自主探究的能力及其对物理学的认识。

其次，它遵循学生学习的认知规律，将物理的学习过程转化为一系列可操作的、行之有效的实践环节。例如“会说话”“会画图”“会操作”“会实验”等栏目是其他教辅书难得一见的，它的要求虽然简单，却是提升学生理解水平的重要环节。因为只有学生能用自己的语言表达出物理概念、规律，才能算是真正的理解。这也有利于引导学生从被动接受教师的讲解、简单记忆知识结论发展到自己主动地思考，真正把自己定位于学习的主体。“我的整理箱”和“我的收藏夹”又把对学生主动学习的要求提高到了一个更高的水平上。学生自己画图、回答问题、梳理知识结构之后，本书提供参考答案让学生进行比较，发现自己存在的问题，及时改正，这又是学生掌握知识必经的认知步骤。

第三，它针对高一学生学习物理的特点，努力帮助学生完成好从初中到高中的过渡，对知识的分析、讲解处处体现着具有丰富教学经验的教师对这个年龄阶段学生思维状态的把握和引领策略，又非常强调让学生通过训练养成科学、规范的思维习惯，为学生未来的能力发展打下坚实的基础。

王邦平老师及写作本书的全体老师为中国的孩子们做了一件好事，也为中国的基础物理教育做了一件好事。这本书对于高中物理教师也具有参考价值。

中国教育学会物理专业委员会名誉理事长
北京师范大学教授

向全铎

2010年3月

前　言

这是一本开创性的图书，它将带你进入学习物理的革命。

适用读者：高一学生。

适用教材：依据新课程标准编写的现行教材（人教版、教科版、鲁科版……）。

写给高中生：

如何才能获得优异的物理成绩呢？

靠不停地做题能达到这个目的吗？我们（作者）想告诉你，在高中生中，做了很多题而成绩却依然不理想的大有人在。做题诚然很重要，但却不是最有效的手段。

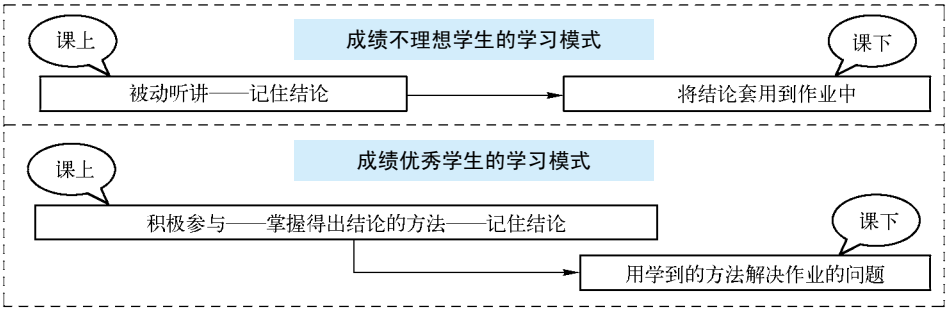
除了刻苦努力之外，在学习的过程中掌握一套好的学习模式，才是让学习事半功倍的重要途径。下面我们用两幅图向你简单介绍一下高中学生有代表性的两种学习模式。

写给家长：

如何才能使孩子学好高中物理呢？

也许您有自己的看法，但有关的教学理论以及我们（作者）多年从事教学工作的经验都认为，最重要的是让孩子掌握一套科学的学习模式。

学习模式的优劣对初中学生的学习成绩影响不大，因为内容相对简单。但在高中阶段，不同的学习模式将产生非常明显的差异。下面我们用两幅图向您简单介绍一下高中学生有代表性的两种学习模式。



这两种学习模式的区别在于，前者是“邯郸学步”，后者是“融会贯通”。有些学生仅仅记住了老师讲授的结论；而有些同学通过在课堂上与老师的积极互动，在掌握知识的同时还掌握了解决问题的基本方法（老师的操作过程），并将学到的方法运用到课下的学习中。后者往往成为了高中物理学习的佼佼者。

本书的目的，就是将优秀教师在课堂上传授的方法用交流、表格、作图等方式呈现出来，从而引导读者掌握一套优秀的学习模式。

正是由于这样的写作目的，所以本书相对其他辅助教材有以下鲜明的特点：

1. 为了帮助学生掌握优秀的学习模式，本书采用了全新的写作方法，即：

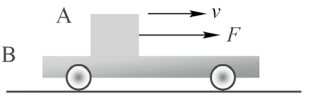
将物理学习的思维过程→转化为→“会说话、会画图、会操作、会实验”四个可模仿的操作过程，并由范鸿飞老师精心制作了仿真实验课件，可供学生进行模拟实验。

2. 本书作者写作过程中参考了5套依据新课标编写的教科书，所以本书更好地体现了新课标中的教学思想。

3. 本书的例题及习题是作者跳出题海之后浓缩的精华。正所谓“题不在多，真懂才行。”

为了说明以上3个特点，请看下面的对比图。

例题：如右图所示，光滑平面有一小车B，其上放一物体A。水平拉力F施于物体A上。已知物体及小车的质量分别为M、m以及A、B之间最大静摩擦力为f_m。为使A与B不发生相对运动，求拉力F的最大值



一般参考书的解题过程	本书的解题过程

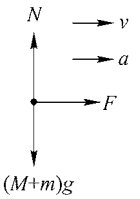
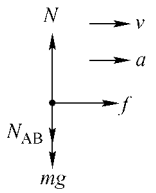
以加速度方向为正方向，根据牛顿第二定律对系统和小车分别列方程得

$$F=(M+m)a$$

$$f=ma$$

又因为两物体发生滑动的条件是$f=f_m$，所以联立方程得

$$F=\frac{M+m}{m}f_m$$

思维操作	解答过程	
研究对象	系统（即整体）	小车
情境图		
适用规律	牛顿第二定律	
物理模型	匀变速直线运动	
特定条件	当$f=f_m$时，F最大	
运算过程	以加速方向为正方向，有 整体：$F=(M+m)a$ 小车：$f_m=ma$ 联立方程：$F=\frac{M+m}{m}f_m$	
会操作	记住解题的这六个规范操作步骤！确信你能独立重复！	

总之，在这本书中，我们将告别枯燥、刻板的说教，代之以交流与互动。让读者在视、听和做中激发兴趣，在阅读和交流中学习，在规范的思维和行为操作中实现习惯的养成，在归纳和总结中提高与深化，在检测和改错中自省与顿悟。

赶快开始吧，本书将传授给你学习的大智慧！

欢迎新朋友

阳光明媚的早晨，小芳与阿牛相约来到了艾爷爷工作的实验室。从今年开始，小芳和阿牛成为了高中生，由于一次偶然的机会，他们认识了艾爷爷，一位在市科研所高能物理研究室里工作的老教授。说到这个艾爷爷呀，他可是一位热心的人，尤其喜欢向他问个不停的孩子们。他总是乐呵呵地向他们讲解物理学的奥妙，告诉他们学习物理学的方法。这不，小芳和阿牛又来找艾爷爷问问题啦。

艾爷爷：“欢迎大家来到我的陋室，快请进吧。”小芳和阿牛谢过艾爷爷后坐在了一张实验台前。他们发现，还有一位同学早早地来到了这里。



姓名：艾爷爷　职业：物理学家
年龄：64岁　身高：173cm
体重：68kg
爱好：太极拳　喝咖啡　看书



姓名：阿牛　职业：高中生
年龄：16岁　身高：178cm
体重：76kg
爱好：篮球　汉堡包　电子游戏



姓名：小芳　职业：高中生
年龄：15岁　身高：162cm
体重：49kg
爱好：音乐　看书　绘画



姓名：机灵鬼　职业：_____
年龄：___岁　身高：_____
体重：___kg
爱好：_____

这位新伙伴是谁呢？当然就是读者朋友你啦！快快和大家介绍一下自己吧！

艾爷爷：“哈哈，你们都是聪明乖巧的孩子！以后你们遇到问题的时候可以随时来找我，我会帮助你们领略物理世界的幻妙。你们不是对我的实验室很好奇吗？现在大家随意看看吧。”艾爷爷倒好了三杯水，笑呵呵地递到同学们的手上。

阿牛：“这儿好多实验的东西啊！艾爷爷，您平时研究物理要做很多实验吗？我原来都是做很多题，很少做实验，同样也学得很好啊。”

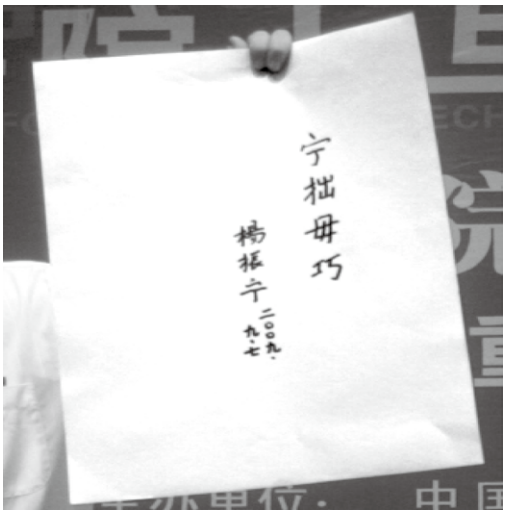
艾爷爷：“实验是必须的。”物理学是从生活现象及实验中抽象、提升而形成的一门学科，物理学中规律的总结都需经历一个很长的过程，要仔细地从现实中归纳而得出，并且经过大量的实验验证，这需要做很多的实验，细心地对很多事物留意观察，而并不是简单地在纸上写两笔就能得到的啊。”

阿牛：“我知道了，就是说，物理的一切都要真实。”

艾爷爷：“真聪明！”物理学的最根本的理念就是‘务实求真’，物理学带给我们的启示是‘按规律办事’。你们来看这个。”艾爷爷指着一张相片问道：“他是谁？”

小芳：“他是杨振宁先生！”

艾爷爷：“对，没错。杨振宁先生是 1957 年诺贝尔物理奖获得者之一，在物理学上取得了非凡的成就。但是，他依然认为‘宁拙毋巧，宁朴毋华’才是对待事物应有的态度。”



艾爷爷：“‘宁拙毋巧，宁朴毋华’的意思就是，老老实实地以一定的科学方法，按照客观规律去办事，千万别妄图超越规律，走所谓的捷径，到头来得不偿失呢。”

小芳：“那在物理学的学习过程中，我们怎样做到‘宁拙毋巧’呢？”机灵鬼脸上出现了疑惑的表情，期待艾爷爷的解释。

艾爷爷：“在你们学习物理的过程中，要掌握科学的学习方法，认真按照这些方法分析、解决问题，以此培养自己严谨的逻辑思维，不要以为简单就疏忽过程，这样便是‘宁拙毋巧’了。”

机灵鬼：“对了，艾爷爷，我们学习物理有什么需要注意的地方？”

艾爷爷：“首先，你们要学会交流，认真地跟着各自的物理老师，利用好每节课的时间多交流，只有能用自己的话将学过的物理概念规律正确地表述出来，才表示你已经学懂了。如果只限于听懂我和老师所说的内容，而不能将它说出来，这样往往是学不好的哦。其次，要循序渐进，不能贪快。还记得刚才所讲的‘宁拙毋巧’吗？踏踏实实地学，认认真真地按照科学的方法来分析问题，养成良好的思维习惯，以后就能把物理学好了。阿牛，像你这样的情况尤其要注意哦，不要觉得简单就忽视了规范的操作、良好的习惯，否则以后必然要出错的！”

艾爷爷：“大家看，以后你们来我这里学物理，我们就将按照这张图上所示的方法来学习。”艾爷爷转身走到工作台边，从抽屉里取出一张图纸。



如何用好这本书

学习指导语 → 每章之初，我会告诉你们，这一章将会有一些什么内容，又有一些什么科学方法、学习方法。这些对你们学习物理起着提纲挈领的作用。

体　验　篇

体验建议 → 提出一些让你们观察、体验的任务，该动手的就动手去做，需要找器材的就要去找哦。

学　习　篇

仿真实验操作提示 → 根据这些提示，你可以利用本书附送的光盘，通过计算机仿真技术，在家中模拟一些物理实验。

会说话
会画图
会操作
会实验
→ 学习物理要善于表达，而不能只是听老师说。学习时我会经常以填空填表或者任务框留白形式让你们试着自己来说一说、做一做。有道是：比较是一切学习的基础。把自己写的东西和答案比较之后才会学得更快、更好。

小贴士 → 为了保持思路的连贯性，有些重要的提示我就在旁边以“小贴士”的形式给你明示出来。

标签1
【例题】 → 重点知识与方法会在正文中加注标签，这样可以给你们一些提示，更方便你们查找定位。

【反馈】
我的训练营 → 要认真地仿照例题中规范解题操作步骤的示范，自己去做反馈题和训练营中的题，通过这些训练养成科学、规范的思维习惯。

我的整理箱 → 在此梳理一下本节所学的知识，形成方法，更重要的是要整理出一个结构图，这样才能明白知识之间的联系，理解科学方法。

指　导　篇

一、参考答案
行文补丁
反馈题答案
训练营答案
二、整理箱提示 → 将你总结的“我的整理箱”与这里的“整理箱提示”做个比较，看看还有哪些遗漏或者错误，更正过来。标签将为你指引方向。

答案随虚线找

标签1
三、点拨与提高 → 这些内容虽然稍微深点，但也不算难学，用心看看会帮助你更为深刻地理解物理的内涵。

检　测　篇

一、检测题
二、检测题答案 → 你们可以用这些习题来查缺补漏，检查自己在学习上还有什么不清楚或者是遗漏的地方，有问题需要及时改正哟！

我的收藏夹 → 你还有什么其他的心得体会吗？请写在这里。

目　　录

第一章　运动的描述 …… 1

第一节　质点　参考系、坐标系 …… 1

体验篇 …… 1

学习篇 …… 1

指导篇 …… 5

第二节　时间、位移 …… 7

体验篇 …… 7

学习篇 …… 7

指导篇 …… 11

第三节　运动快慢的描述——速度 …… 14

体验篇 …… 14

学习篇 …… 14

指导篇 …… 18

第四节　实验：用打点计时器测速度 …… 21

体验篇 …… 21

学习篇 …… 21

指导篇 …… 27

第五节　速度变化快慢的描述——加速度 …… 31

体验篇 …… 31

学习篇 …… 31

指导篇 …… 37

检测篇 …… 40

第二章　匀变速直线运动的研究 …… 45
第一节　匀变速直线运动 …… 45
体验篇 …… 45
学习篇 …… 46
指导篇 …… 49
第二节　匀变速直线运动的规律 …… 52
体验篇 …… 52
学习篇 …… 52
指导篇 …… 61
第三节　测量匀变速直线运动的加速度 …… 66
学习篇 …… 66
指导篇 …… 73
第四节　自由落体运动 …… 79
体验篇 …… 79
学习篇 …… 80
指导篇 …… 86
检测篇 …… 89
第三章　相互作用 …… 93
第一节　重力　基本相互作用力 …… 93
体验篇 …… 93
学习篇 …… 93
指导篇 …… 96
第二节　弹力 …… 98
体验篇 …… 98
学习篇 …… 98
指导篇 …… 105
第三节　摩擦 力 …… 108
体验篇 …… 108
学习篇 …… 108
指导篇 …… 115

第四节　力的合成与分解……119
体验篇……119
学习篇……120
指导篇……126
检测篇……128
第四章　牛顿运动定律……131
第一节　牛顿第一定律……131
体验篇……131
学习篇……131
指导篇……137
第二节　探究加速度与力、质量的关系……140
体验篇……140
学习篇……140
指导篇……145
第三节　牛顿第二定律……149
学习篇……149
指导篇……155
第四节　牛顿第三定律……159
体验篇……159
学习篇……159
指导篇……163
第五节　牛顿运动定律的应用（一）……166
体验篇……166
学习篇……166
指导篇……175
第六节　牛顿运动定律的应用（二）……180
体验篇……180
学习篇……181
指导篇……187
检测篇……193

第五章　曲线运动 …… 195
第一节　曲线运动 …… 195
体验篇 …… 195
学习篇 …… 195
指导篇 …… 200
第二节　质点在平面内的运动 …… 204
体验篇 …… 204
学习篇 …… 204
指导篇 …… 208
第三节　抛体运动的规律 …… 211
体验篇 …… 211
学习篇 …… 211
指导篇 …… 217
第四节　实验：研究平抛运动 …… 222
体验篇 …… 222
学习篇 …… 223
指导篇 …… 229
第五节　圆周运动 …… 231
体验篇 …… 231
学习篇 …… 232
指导篇 …… 236
第六节　向心加速度 …… 240
体验篇 …… 240
学习篇 …… 240
指导篇 …… 245
第七节　向心力 …… 248
体验篇 …… 248
学习篇 …… 248
指导篇 …… 254
第八节　生活中的圆周运动 …… 260

体验篇……260
学习篇……260
指导篇……270
检测篇……273
第六章　万有引力与航天……278
第一节　行星的运动……278
体验篇……278
学习篇……279
指导篇……284
第二节　万有引力定律……289
体验篇……289
学习篇……289
指导篇……299
第三节　引力常数的测定　万有引力的应用……303
体验篇……303
学习篇……304
指导篇……311
第四节　宇宙航行……315
体验篇……315
学习篇……316
指导篇……325
检测篇……330
第七章　功和能……334
第一节　功……334
体验篇……334
学习篇……335
指导篇……342
第二节　功率……346
体验篇……346
学习篇……346

指导篇 …… 354
第三节　势能 …… 357
体验篇 …… 357
学习篇 …… 357
指导篇 …… 363
第四节　动能和动能定理 …… 367
体验篇 …… 367
学习篇 …… 367
指导篇 …… 375
第五节　机械能守恒定律 …… 380
体验篇 …… 380
学习篇 …… 380
指导篇 …… 387
检测篇 …… 394
附录A　全书知识结构图——力与运动状态变化的关系 …… 399
附录B　“四会”索引 …… 400
后记 …… 404

Chapter 1

第一章　运动的描述

学习指导语

为帮助同学们迅速从初中过渡到高中物理学习的情境中来，编书的老师们用心良苦，选择了初、高中衔接比较紧密的“运动的描述”作为突破口，引导大家进入高中物理学习的大门。本章涉及高中物理学习习惯的建立，建立良好的规范能帮助你出色完成高中物理的学习。

“比较是一切学习的基础！”建议大家在学习这一章的时候，采用比较的方法，比较初中和高中同一内容的联系和差异，找出矛盾，解决矛盾，你的物理学习就会更进一步了！

一定要学会画图！“科学源于形象思维，终于逻辑思维”，画图是一种形象思维的手段，能画出漂亮的情境图就像在高中物理学习的比赛中有了一个漂亮的起跑！本章你将学习画运动情境图的方法。

交流是最好的学习方式！听懂了未必真会，说得对，写得清楚，才是真懂了！

第一节　质点　参考系、坐标系

体验篇



艾爷爷：“谁能告诉我北京的位置？”

小芳：“河北的中东部。”如图 1-1-1 所示。

艾爷爷：“答得不错。但河北又在哪里呢？”

小芳：“内蒙古的南边，山西的东边，河南的北边，山东的西北。”

阿牛：“但是内蒙古、山西、河南、山东又在哪呢？”

艾爷爷：“行啊，阿牛！看来你有更好的答案了？”

阿牛：“北纬 40°，东经 116° 附近。(图 1-1-2)”

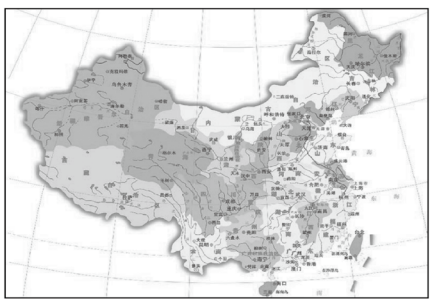


图1-1-1



图1-1-2

艾爷爷：“太棒了！请问地图上那些格子是干什么用的？”

阿牛：“横着的是纬度线，竖着的是经度线。有了它们才能确定如飞机、轮船在地球上的准确位置。”

艾爷爷：“对，地图上的经纬线就是人们在地球表面建立的坐标，有了坐标才能准确描述物体的位置和运动。”

学习篇

一、质点

物理学的重要方法之一是将实际的问题理想化，这种方法称为**模型法**。

质点就是大家在高中遇到的第一个理想模型。在研究的问题中，物体的质量是个重要的因素被保留了，而物体的大小和形状是次要的因素可以忽略，此时被看做质点的物体就成了一个只有质量而无大小的点。

标签1



小贴士

模型法：保留问题的主要因素，忽略问题次要因素的方法。

艾爷爷：“要研究一个人跑得快慢，一般情况下我们只关心人整体前进的情况，而很少关心人的大小和形状，这种情况下跑步的人就可以看成一个质点，用图中的点代替实际人的位置。”说着，艾爷爷随手画了一幅图（图 1-1-3）。

标签2

“标签”的作用：
做知识整理时，这是你需要特别关注的地方

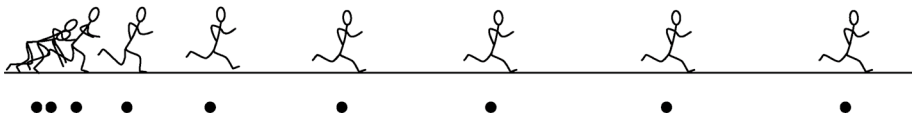


图1-1-3

【例题1】

下列说法正确的是（　）

A. 观看体操运动表演，观众把体操运动员看做质点

B. 在地图上绘制飞机飞行的路线时，飞机被看做了质点

C. 科学家研究地球自转时，把地球看做质点

D. 科学家研究地球公转时，把地球看做质点

思维操作	解答过程			
依据	物体被抽象成质点的关键是体积和形状在研究的问题中是次要因素			
条件和分析	A	B	C	D
	体操运动员的动作是我们观看的重点，不能忽略运动员的大小	与飞行路线相比，飞机的大小和形状可以被忽略	地球围绕着地轴转动，在赤道表面物体相对地轴每秒通过的路程最长，而纬度越高，每秒通过的路程越短。因为地球上各个位置的运动情况不尽相同，所以地球的大小和形状不能被忽略	日地距离为 1.5×10^{8}km，地球半径约为 6.4×10^{3}km。因为日地距离是地球半径的2万多倍，所以研究公转时地球的大小可被忽略
结论	错误	正确	错误	正确
会说话	请将这个问题的每个选项以“依据、条件和分析、结论”的方式对你的老师、同学或自己说一遍			

标签3

“会说话”的作用：
将所学的东西用说话的方式表达出来，是检验你学习效果的非常好的方法，请你千万不要忽视它。在本书中再看到“会说话”时，就请你按照书中教你的方式重复几遍。

艾爷爷：“为了检验一下学习效果，利用下面一道反馈题来考考大家。”

【反馈1】

下列运动的物体能够被当做质点的是（　）

A. 研究火车从北京到上海的时间

B. 研究火车通过一个比火车长3倍的山洞的时间

C. 刘翔参加跨栏比赛时，观众眼中的刘翔

D. 刘翔参加跨栏比赛时，教练眼中的刘翔（提示：技术动作影响成绩）

思维操作	解答过程			
依据				
条件和分析	A	B	C	D
结论				

二、参考系、坐标系



标签4

在初中我们为了描述物体的运动都要选定另外一个物体作为标准，这个被选定的标准就是参考物，在高中叫做**参考系**。

阿牛：“艾爷爷，参考系和参考物有区别吗？”

艾爷爷：“当然有区别，简单地说‘参考系不是一个参考物，而是运动状态相同的体系’。在高中为了准确地描述质点的位置，在选定参考系后，还需要建立坐标系。我给大家举个例子，如一辆汽车沿着笔直的公路向东行驶，为了描述汽车运动的位置，我们要做如下的工作：

标签5

①**我们可以选定地面为参考的标准。**

②**以小树为坐标原点，以 1 公里为单位长度，沿着地面画一个坐标轴 *x*。**

这样我们为描述汽车的位置建立好了一个参考系和坐标系，如图 1-1-4 所示。”

“会画图”的作用：

提示你画图也是学物理需要掌握的内容，本节当中的图已经给你画好了，以后方框中的图就需要你自己来完成了。

会画图

学会建立坐标系来描述物体的位置是这节课要掌握的内容

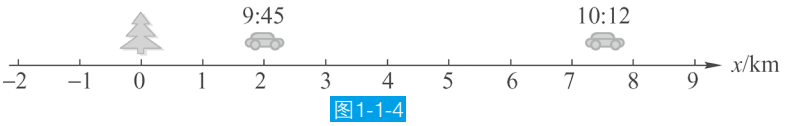


图1-1-4

从图1-1-4可以看出，9点45分汽车的**位置**在2km处，10点12分时汽车的**位置**在7.5km处。

艾爷爷：“质点在一条直线上的运动，我们可以用一个坐标轴（**一维坐标系**）来表示质点的运动。但如果将一个小球从桌子的边缘抛出，小球在空中的竖直平面内做曲线运动，就需要有两个坐标轴的坐标系（**二维坐标系**）来描述质点的运动。”

①我们可以选定地面为参考的标准。

②以桌角为坐标原点，以10cm为单位长度，然后沿平行地面画横轴*x*，沿垂直地面画纵轴 *y*。

这样我们为描述小球的运动位置建立好了一个直角坐标系，如图 1-1-5 所示。

从图 1-1-5 中可以看出，小球的抛出位置坐标为（0，0），并在下落过程中从坐标（30cm，80cm）处经过。

会画图

学会建立坐标系来描述物体的位置是这节课要掌握的内容

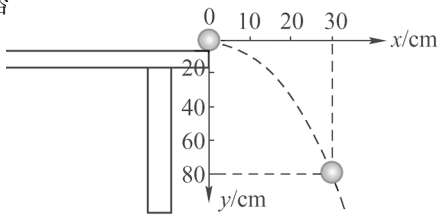


图1-1-5

小芳：“地球表面的经纬线就是一个以地面为参考标准的二维坐标系，正是依据这个坐标系，我们才能确定物体的位置，全球的空运和海运工作才能准确而有序地运转。”

艾爷爷：“很好，这个坐标系的好处是全球公认，你前面描述北京的位置，有地理常识的人都能明白。你们是否注意到了高中物理学习与初中的不同？”

小芳：“我说说，我好像有点明白初高中学习的区别了，就是按照一定的规律去思考和解决问题。”

艾爷爷：“让我们总结一下：①高中在重视概念学习（如，什么是质点）、规律学习的同时，更重视如何按照物理学的方法用概念规律去解决问题（如，按照‘依据、条件和分析、结论’方法去判断物体能否被看做质点）。②高中学习中要重视‘交流’，能说清楚才是真懂。③重视‘画情境图’。把物理过程形象化，画出情境图是高中学习的重要手段。重视以上三点的同学往往成为学习高中物理的佼佼者。”

我的训练营

1. 下列关于质点的说法中正确的是（　　）

A. 只要是体积很小的物体都可看做质点

B. 只要是质量很小的物体都可看做质点

C. 质量很大或体积很大的物体都一定不能看做质点

D. 由于所研究的问题不同，同一物体有时可以看做质点，有时不能看做质点

2. 如图1-1-6所示。请以*D*为原点，沿着篮球场的边缘建立一个直角坐标系，然后描述一下球场上篮球的位置。

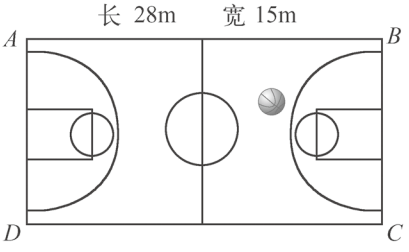


图1-1-6

我的整理箱

知识的梳理

★
★
★

“知识的梳理”
在这里填写你在本节书中学习到的知识和定义。如质点、参考系 。

方法的形成

★
★

“方法的形成”
在这里填写你在本节书中学习到的方法，有标签的地方是需要你特别注意的。如模型法、建立坐标系的方法。

结构图

“结构图”
把本节书中有联系的知识点按照一定的逻辑关系画出来；或者把书中教给你的思维过程，用流程图表示出来。同样需要大家注意有标签的地方。如判断物体能否被当做质点的判断过程。

知识体系	判断物体能否被看做质点的思维操作过程	思维操作

指导篇

一、参考答案

反馈题答案

【反馈1】　正确答案：AC				
思维操作	解答过程			
依据	研究的问题是否关系物体的大小和形状			
条件和分析	A	B	C	D
	在研究火车从北京到上海的时间，距离比火车长度大得多，可以忽略火车的大小	因为山洞的长度只是火车的3倍，计算火车穿过山洞的时间必须考虑火车的长度	在观众眼中，并不在乎刘翔的具体动作，刘翔能否第一个到达终点才是关注的重点	教练眼中，刘翔能否取胜的关键在于刘翔的动作细节是否达到了要求，此时教练不会忽略刘翔的大小和形状
结论	正确	错误	正确	错误

训练营答案

1. D。分析：物体能否被当做质点的关键不在于物体的大小，而是研究问题时是否关心物体的形状或大小。若不关心，则物体可以当做质点，反之，则不行。

2. 如图1-1-7所示，根据建立的坐标系，可以知道篮球在球场中的位置为（20m,10m）。

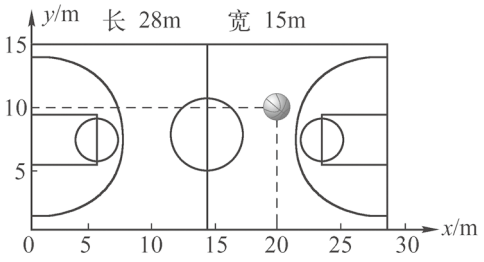


图1-1-7

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 质点 标签2

★ 参考系 标签4

方法的形成

★ 理性模型的建立 标签1

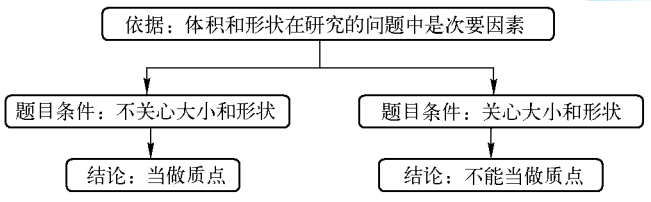
★ 利用建立坐标系来描述质点的位置。坐标系建立的方法：①选定某一物体为参考的标准；②以某一点为坐标原点，选定某一长度为标度，沿着某一个方向画坐标轴。有了坐标系后就可以描述质点运动的位置了。 标签5

结构图

知识体系

思维操作

判断物体能否被看做质点的思维操作过程 标签3



三、点拨与提高

1. 理想模型

理想模型是为了便于研究而建立的一种抽象模型。本文中的“质点”是一个理想模型。实际的物体都具有多种属性，例如汽车有形状、体积、内部结构和质量等，研究汽车整体运动时，保留主要因素“质量”，次要因素“形状、体积、内部结构”可以忽略不计。

2. 三类理想模型

理想模型可以分为对象模型、条件模型和过程模型三类。

（1）对象模型：用来代替研究对象的理想化模型，如质点、光线、薄透镜。今后我们还将学到的理想气体、单摆、点电荷、理想变压器、点光源都属于对象模型。

（2）条件模型:把研究对象所处的外部条件理想化,建立的模型叫做条件模型,如光滑表面、均匀介质。今后我们还将学到的匀强电场和匀强磁场都属于条件模型（亦称环境模型）。

（3）过程模型：实际的物理过程都是诸多因素作用的结果，忽略次要因素的作用，只考虑主要因素引起的变化过程叫做过程模型，如匀速直线运动。今后我们还将学到的匀加速直线运动、平抛运动、匀速圆周运动等都属于过程模型。

第二节　时间、位移

体验篇



艾爷爷：“大家知道人类的计时工具主要经过了几个阶段的演变吗？这几张图片（图 1-2-1、1-2-2、1-2-3 和 1-2-4）画的是什么？”

小芳：“图 1-2-1 中的工具叫做日晷，是利用太阳的影子作为计时工具的代表。图 1-2-2 中的工具叫做沙漏，是利用沙子的流量作为计时工具。图 1-2-3 中的工具叫做机械表，图片中展现的是它的内部结构。图 1-2-4 中的工具叫做石英表，图片中展现的是它的主要部件。”



图1-2-1
http://image.phototime.cn/image1/middle/6323/84/C64151362.jpg



图1-2-2
http://hi.baidu.com/2004h901/album/item/859ca510c28d9826213f2eb6.html



图1-2-3
http://www.watchhome.com.cn/watch/2009-03/558.html

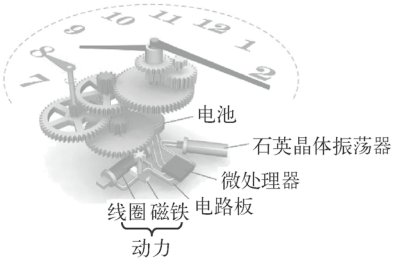


图1-2-4
http://watchstore.com.cn/dispbbs.asp?boardid=34&Id=1048877

阿牛：“这节要研究计时？”

艾爷爷：“是，请问‘起床闹钟设定的时间为 6:30’。‘早餐时间是 7:00 ~ 7:30’。这两句话里的‘时间’有什么区别？”

学习篇

一、时刻和时间

时刻和时间在物理学上有着不同的含义。**时刻**是钟表上某一瞬间的读数，而**时间**是钟表上两个时刻的差值。

因为时间是看不见、摸不着的，所以物理学用了一种形象的方式来表示它。那就是将时间

这个看不见的物理量用线段的长短来间接地表示出来。

标签1

艾爷爷：“如果我在钟表上显示 7:30 时开始用早餐，当吃完最后一口油条、喝完最后一口豆浆的瞬 间钟表上显示 8:05。利用图 1-2-5 的时间轴就可以形象地表述我吃饭过程的时刻和时间了。”

小贴士

实验是物理学的基础，测量是实验的基础。在发明数字万用表前，几乎所有的物理量的测量都被转化成长度的测量。希望在以后的学习中你能留心。

会画图

①画一个坐标轴

②坐标轴箭头的方向代表了时间流逝的方向

③规定一段固定的长度代表特定的时间间隔

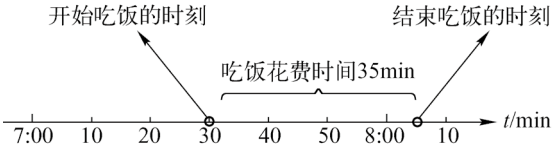


图1-2-5

艾爷爷：“机灵鬼，你看出时刻和时间在时间轴上的区别了吗？”

机灵鬼：“_____①”

机灵鬼：
不是别人，就是艾爷爷对正在看书的你的爱称。

空白处：
这里是特意留给你（机灵鬼）填写的，因为这是比较重要的内容，希望引起你的注意。在本节“指导篇”的“行文补丁”中，你可以找到参考答案。

在时间轴上的还有另一种标注方式：把某一时刻规定为时间的起点——0 时刻，如图 1-2-6 所示。然后按照习惯，把 0 和 1 之间的时间间隔叫做**第 1 秒**，时刻 0 被叫做**第 1 秒初**，时刻 1 被叫做**第 1 秒末**或**第 2 秒初**。而时刻 0 到 3 之间的时间间隔叫做**前三秒**。

艾爷爷：“机灵鬼，是否了解了上面所提到的时间和时刻的命名方式。现在请你画一个时间轴，然后把‘第 1 秒’、‘第 5 秒’、‘前 5 秒’、‘第 1 秒末’、‘第 5 秒末’和‘第 6 秒初’标注在图 1-2-6 的时间轴上。”

“会画图”：
从现在开始，这里的内容就需要你来绘制了。同样在“指导篇”的“行文补丁”中，你可以找到参考答案。

会画图

标签2

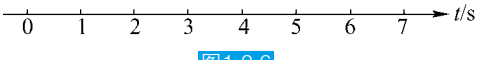


图1-2-6

二、位移和路程

标签3

如图 1-2-7 所示，**路程**是物体运动轨迹的长度，**位移**是由运动物体的初位置指向末位置的有向线段。“有向”说明位移是有方向的，这是你在高中遇到的第一个矢量，既有大小也有方向的



图1-2-7

物理量。

小芳：“艾爷爷，为什么高中要引入位移这个物理量呢？只用路程不行吗？”

艾爷爷：“我举个例子来回答小芳的问题”。

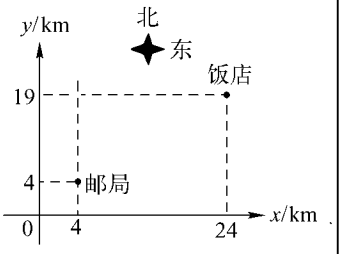
【例题1】

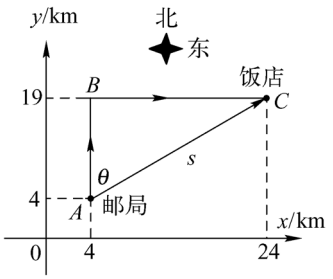
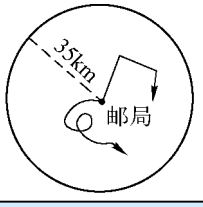
艾爷爷从邮局出来驾车向正北行驶，到位置（4km，19km）后又向正东行驶到达饭店

（1）请在图上画出汽车行驶的轨迹，并计算汽车行驶的路程是多少

（2）请在图上画出汽车的位移，并用文字表述汽车的位移

（3）如果题目只告诉你艾爷爷从邮局出发，行驶的路程为第一问的结果，而不告诉你行驶的方向。你认为艾爷爷到达的目的地有多少种可能



思维过程	解答过程
研究对象	艾爷爷的汽车
情境图	 **会画图** ①建立坐标系 ②路程：沿着物体运动的方向描绘出来的轨迹就是路程 ③位移：从初位置指向末位置的有向线段
分析结果	（1）如上图所示。汽车行驶的路程就是AB和BC两条线段的长度之和： $s_{AB}+s_{BC}=35\text{km}$ （2）有向线段AC为汽车的位移 $s=\sqrt{s_{AB}^2+s_{BC}^2}=25\text{km}$ 因为 $\tan\theta=\frac{s_{BC}}{s_{AB}}=\frac{4}{3}$，所以$\theta$=53° **文字表述：**汽车的位移大小为25km，方向北偏东53° （3）如果只告诉汽车行驶的路程，那就会有无数种可能。以邮局为圆心，35km为半径的圆内的任一点艾爷爷都可能到达 
会说话	请把文字表述中的内容说给别人或自己听听 **汽车的位移大小为 25km，方向北偏东 53°**

标签4

标签5

艾爷爷：“因为路程无法准确地描述物体位置的变化，所以物理学引入了位移的概念。下面我再举个例子，请分别用情境图和文字来描述物体的位移和路程。”



小贴士

如何学好一个物理概念？

第一要弄清楚这个概念是干什么用的（物理含义）；第二要会表述这个概念，如画示意图或文字描述，两个都很重要啊！

【反馈1】

一质点由A点向北运动了4m，又转向东运动了4m，到达B点，然后转向南运动了7m，到达C点

（1）以A点为坐标原点，沿南北和东西方向建立坐标系

（2）在坐标系中画出质点在各个阶段的位移，以及全程的位移

（3）用文字准确表述整个过程质点的路程和位移

思维过程	解答过程
研究对象	
情境图	
分析结果	



我的训练营

1. 请画一个时间轴，从零时刻开始计时，然后把“前 3s 内、前 4s 内、第 2s 内、第 2s 末、第 3s 初”标注在你所画的时间轴上。

2. 关于位移和路程的关系正确的是（　　）

A. 物体沿直线向某一方向运动，通过的路程就是位移

B. 物体沿直线向某一方向运动，通过的路程等于位移的大小

C. 物体通过的路程不等，位移可能相同

D. 物体的位移为零，路程也一定为零

3. 一质点由 A 点向北运动了 4m，又转向东运动了 3m，到达 B 点，然后转向南运动了 1m，到达 C 点。

（1）建立坐标系，在坐标系中表示质点在各个阶段的位移，以及全程的位移。

（2）用语言准确描述全过程中质点运动的路程和位移。

我的整理箱

知识的梳理

★

★

方法的形成

★

★

★

指导篇

一、参考答案

行文补丁

①机灵鬼：“时刻是时间轴上的点，时间是时间轴上的线段。”

会画图

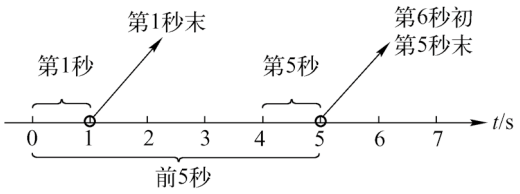
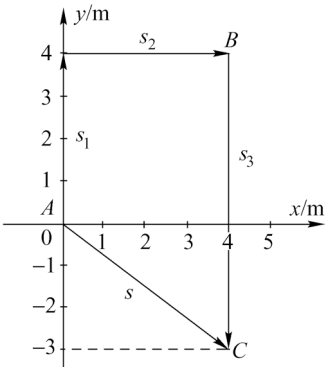


图1-2-8

反馈题答案

【反馈1】

思维过程	解答过程
研究对象	质点
情境图	

续表

分析结果	（1）建立如上图坐标系 （2）第一段位移为s_1，第二段位移为s_2，第三段位移为s_3。全程的位移为s （3）整个过程质点的位移大小为5m，方向东偏南37°

1. 如图 1-2-9 所示。

2. 正确选项 BC。提示：选项 A，路程和位移是不同的物理量，所以不可以说路程就是位移；选项 B，路程是轨迹的长度，而位移是有向线段，当物体沿直线单向运动时，路程与位移大小相等；选项 C，两个同学从学校出发，走不同的路线到附近的一家书店，两人位移一定是相同的，而路程却不同；选项 D，若沿操场跑一整圈时，人的位移为零，而路程不为零。

3.（1）如图 1-2-10 所示。

（2）质点在整个运动中通过的路程为 8m。质点在整个运动中的位移为 $3\sqrt{2}$m，方向东北方向（或东偏北 45°）。

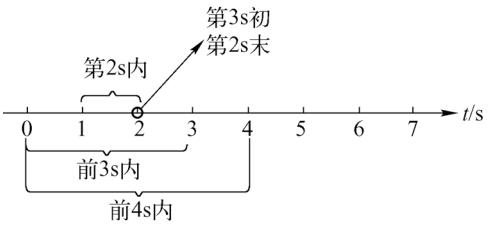


图1-2-9

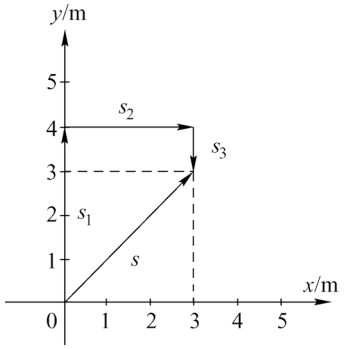


图1-2-10

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 时刻和时间 标签1

★ 路程和位移 标签3

方法的形成

★ 用时间轴表示时间和时刻，体会用可见物理量来表示不可见物理量 标签2

★ 在坐标系中绘制物体的运动路程和位移 标签4

★ 会用语言描述物体的位移 标签5

三、点拨与提高

钟表的内部结构：

钟表是精密的计时仪器。

公元 1300 年以前，人类主要利用日晷、沙漏等来计时。中国东汉张衡制造的漏水转浑天仪初步具备了机械性计时器的作用。1088 年（北宋元祐三年），中国的苏颂和韩公廉等创制水

运仪象台已运用了接近于现代钟表的擒纵机构。1350 年，意大利的 E · 丹蒂制出第一台结构简单的机械打点**塔钟**。1500 —1510 年，德国的 P · 亨莱恩首先用发条代替重锤作为钟的动力，创造了用冕状轮擒纵机构的小型机械钟。1657 年，荷兰的 C · 惠更斯应用伽利略发现的摆的等时性原理，创立了摆钟。1675 年，惠更斯又首先在钟上采用了摆轮游丝，提高了钟的走时精度，缩小了钟的外形尺寸。 1728—1759 年，英国的 J · 哈里森制出了高精度的标准航海钟。18 ~ 19 世纪，钟表制造业已逐步实现了工业化生产，同时不断改进计时方法和提高计时精度。20 世纪，随着电子工业的迅速发展，电池驱动钟、交流电钟、电机械表、指针式石英电子钟表、数字显示式石英电子钟表等相继问世，石英钟表的日差已小于 0.5 秒。钟表进入了微电子技术与精密机械相结合的石英化新时期。

机械钟表一般由动力机构、传动机构、擒纵机构、指针机构等组成，如图1-2-11所示。动力机构为机械钟表提供动力，并经过传动机构来推动擒纵机构工作，再由擒纵机构反过来控制传动机构的转速，然后由传动机构带动指针机构指示时刻。

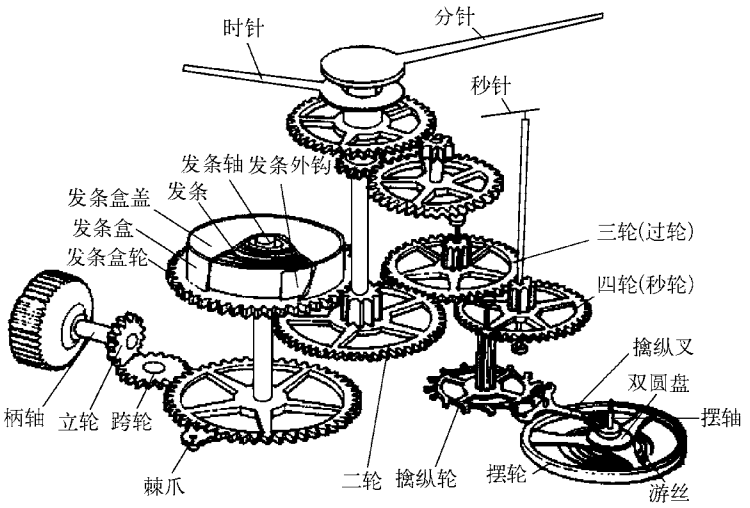


图1-2-11

http://www.nenker.com/topics/view.action?tid=11080

动力机构是储存和传递工作能量的机构，一般包括发条盒轮、发条盒盖、发条轴、发条和发条外钩。发条是一个螺旋形或 S 形的弹簧，可以通过上条拨针系使发条旋紧，旋紧后的发条具备的弹性能量可以驱动传动机构。

传动机构是将能量传至擒纵调速机构的一组齿轮，一般由二轮（中心轮）、三轮（过轮）、四轮（秒轮）和擒纵轮齿轴组成。

擒纵调速机构是由擒纵机构和振动机构两部分组成，它依靠振动系统的周期性振动，使擒纵机构保持精确和规律性的间歇运动，从而取得调速作用，擒纵调速机构能把能量传递给振动系统。

指针机构主要由摆轮、摆轴、游丝、快慢针等组成。摆轮受外力会偏离其平衡位置开始摆动，这时游丝便被扭转而产生恢复力矩，这就是机械钟表在运转时重复循环工作的原理。

（参考网站 http://info.datang.net/Z/Z1430.htm 和 http://www.nenker.com/topics/view.action?tid=11080）

第三节　运动快慢的描述——速度

体验篇

小芳：“阿牛，你这电脑桌面上的照片（图 1-3-1）是谁啊？”

阿牛：“这都不知道？机灵鬼你肯定知道吧？”

机灵鬼：“这是世界百米纪录保持者‘飞人’博尔特啊。北京时间 2009 年 8 月 17 日，他以 9 秒 58 夺 得金牌，以新成绩再度刷新了自己保持的世界纪录。”

艾爷爷：“人类总在不断地突破速度的极限。在不同的领域，你总会看到新速度的诞生。”

协和式客机（图 1-3-2），世界上**唯一**投入航线上运营的**超音速**商用客机，其巡航速度可达 2.04 马赫（声速的 2.04 倍，约 2519.4 公里 / 小时），一般客机的巡航速度只能达到 0.85 马赫左右（约 902 公里 / 小时）。令人遗憾的是，协和式飞机因 2000 年的一次重大事故，以及故障不断、承载率降到 50% 以下，再加上飞机票价和维修费用昂贵、噪声大、油耗高等缘故，在 2003 年 10 月 24 日执行最后一次航班后，全数退役。

（参考 http://baike.baidu.com/view/69938.htm 和 http://edu.beelink.com.cn/20031024/1446644.shtml）



图1-3-1

http://www.news365.com.cn/wxpd/ty/jryw/200908/t20090817_2432654.htm



图1-3-2

http://edu.beelink.com.cn/20031024/1446644.shtml



艾爷爷：“请问你们的步行速度怎么测？”

阿牛：“可以先测量一步跨越的尺寸，然后记录步数和所用的时间，就可以算出速度。还可以在标准的操场（1 圈 400 米）上步行一圈，记录时间，来算出自己的速度。”

艾爷爷：“孩子们，户外活动时间到了，现在带上你们的手表（如果你的手表有计时功能就更好了）测量一下你的步行速度，也可以测量你跑步的速度。”

学习篇

艾爷爷：“阿牛和机灵鬼谁跑得快？”

阿牛：“我们都跑了 1 分钟，我跑的路程远，我快。”

机灵鬼：“不服，再来一次？”

小芳：“我当裁判，你们同时开始跑 100 米，我来掐表，谁用的时间短谁快。”

艾爷爷：“位移相同时，谁用的时间短，谁就跑得快。如果他们两个运动的位移和时间都不同，那该如何比较它们的快慢啊？”

机灵鬼：“_____①。”

一、平均速度和平均速率

平均速度就是物体运动的**位移**与**所用时间**的比值。

$\bar{v}=\frac{s}{t}$，国际单位：米 / 秒，单位符号：m/s。

用位移来描述物体位置变化的大小和方向。平均速度则代表了 1 秒内物体位置变化的大小和方向，这就是**平均速度的物理含义**。平均速度是矢量。

平均速率是物体运动的**路程**与**所用时间**的比值。路程没有方向，平均速率也没有方向，是标量。

艾爷爷：“机灵鬼，看到这里你是否看出了高中所讲的速度与初中所讲的不同？”

机灵鬼：“_____ ②。”

小贴士

比值法

比值法就是应用两个物理量的比值来定量研究第三个物理量，如速度的定义。

应用比值法定义物理量，往往需要一定的条件：一是用于做比的两个物理量是可直接测量的，二是两个物理量的比值必定反映物质某一种特性。

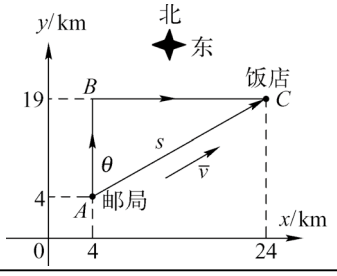
标签1

【例题1】

艾爷爷从邮局出来驾车向正北行驶，到达了位置（4km，19km）后又向正东行驶到达饭店，全程花了25分钟。求

（1）汽车行驶的平均速度

（2）汽车行驶的平均速率

思维过程	解答过程
研究对象	艾爷爷的汽车
情境图	 会画图 平均速度 $\bar{v}$ 是一段与位移同向的有向线段。一般画得比位移短一些
适用规律	平均速度=$\frac{位移}{时间}$，平均速率=$\frac{路程}{时间}$
运算过程	（1）汽车行驶的位移 $s=\sqrt{15^2+20^2}=25(\text{km})$ 根据平均速度定义有 $\bar{v}=\frac{s}{t}=\frac{25\text{km}}{25\,\text{min}}=1\text{km/min}\approx16.7\text{m/s}$ 因为$\tan\theta=\frac{s_{BC}}{s_{AB}}=\frac{4}{3}$，所以 $\theta=53°$ 。所以平均速度方向为北偏东53° （2）汽车行驶的路程s'=15m+20m=35m 根据平均速率定义有 $\bar{v}'=\frac{s'}{t}=\frac{35\text{km}}{25\,\text{min}}\approx23.3\text{m/s}$
会说话	汽车的平均速度的大小为16.7m/s，方向北偏东53°

标签2

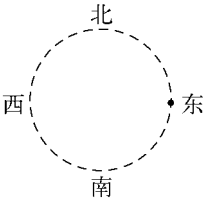
从平均速度和平均速率的定义看来，初中所学习的速度实际上是高中的平均速率，它没有方向，是个标量。而平均速度是个矢量，在描述它时千万不要忘记了方向。

【反馈1】

一位同学沿着半径为 60m 的正圆形跑道步行，走了 $1\frac{3}{4}$ 圈时花费了 10min，请计算在这个过程中

（1）这位同学步行的平均速度，并用语言描述这个结果的含义

（2）这位同学步行的平均速率



思维过程	解答过程
研究对象	
情境图	
适用规律	
运算过程	

二、瞬时速度和瞬时速率



艾爷爷：“谁能告诉我图 1-3-3 的标志是什么含义？”

阿牛：“汽车在这段路上行驶的速度应高于 50km/h，低于 100km/h。”

艾爷爷：“回答正确。那谁能告诉我，这里提到的汽车速度是指汽车的平均速度，还是汽车在任意时刻行驶的瞬时速度呢？”

机灵鬼：“_____ ③”



图1-3-3

在研究很多问题时，仅仅了解物体的平均速度是不够的，因此物理学引入了瞬时速度和瞬时速率的概念。

物体在某一时刻或某一位置的速度，叫做**瞬时速度**，它是矢量，其方向就是物体瞬间的运动方向。**瞬时速率**就是物体瞬时速度的大小，是标量。

阿牛：“我糊涂了。任意时刻，所用的时间为 0。任意位置，所走的位移为 0，没有位移和时间，怎么去测物体的瞬时速度？”

标签3



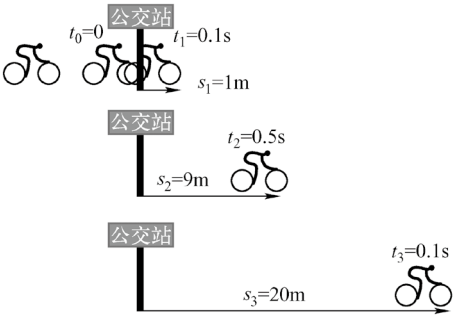
艾爷爷：“问得好！其实我们只要继续沿用平均速度的定义方法，就可以计算物体的瞬时速度大小了，请看下面的例子。”

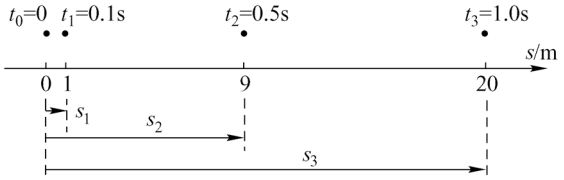
【例题2】

我们想知道一个自行车运动员在通过公交车站牌这个位置时的瞬时速度。观测者从自行车前轮到达站牌下方开始计时，在前0.1s内自行车的位移是1m，前0.5s内的位移为9m，前1.0s内的位移为20m

（1）请你分别求出三个时间段自行车的平均速度的大小

（2）三个平均速度哪一个更接近自行车通过站牌时的瞬时速度



思维过程	解答过程
研究对象	自行车
情境图	 会画图
适用规律	$\overline{v}=\frac{s}{t}$
运算过程	自行车在三段时间内的平均速度分别为 前0.1s内　$\overline{v}_1=\frac{s_1}{t_1-t_0}=\frac{1}{0.1}\text{m/s}=10\text{m/s}$ 前0.5s内　$\overline{v}_2=\frac{s_2}{t_2-t_0}=\frac{9}{0.5}\text{m/s}=18\text{m/s}$ 前1.0s内　$\overline{v}_3=\frac{s_3}{t_3-t_0}=\frac{20}{1.0}\text{m/s}=20\text{m/s}$
分析结果	虽然三个平均速度都不是运动员骑自行车通过公交站牌时的瞬时速度。但比较而言，s_1 是最小一段位移，所以 $\overline{v}_1$ 更接近自行车通过公交站牌时的瞬时速度。原因是位移越小（或时间越短），那么这段位移（或时间内）物体的速度变化就越小，所以利用这段位移所求得的平均速度就越能代表物体的瞬时速度

标签4

艾爷爷：“例题 2 告诉我们测量物体瞬时速度的方法：测量物体运动过程中足够小的一段位移 Δs 和这段位移所对应的时间 Δt，它们的比值 $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ 就代表了物体瞬时速度的大小。”

阿牛：“多小的位移才叫‘足够小’呢？”

艾爷爷：“这取决于对测量精度的要求。测量精度要求越高，需要测量的位移和时间就要越小，这样计算出的瞬时速度就精确。”

我的训练营

1. 一个人用 10s 向东走了 8m，然后又花了 10s 向南走了 8m，请准确表述：

（1）前 10s 的平均速度。

（2）20s 内的平均速度。

2. 甲、乙两位同学用不同的时间围绕操场跑了一圈，都回到了出发点，他们的平均速度相同吗？怎样比较他们运动的快慢？

3. 有关瞬时速度、平均速度、平均速率，下列说法中正确的是（　　）

A. 瞬时速度是物体在某一位置或某一时刻的速度

B. 平均速度等于某段时间内物体运动的位移与所用时间的比值

C. 平均速率就是平均速度的大小

D. 瞬时速率就是瞬时速度的大小

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

★

方法的形成

★

★

指导篇

一、参考答案

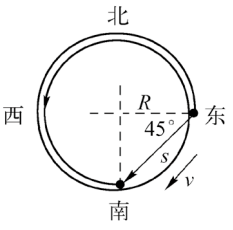
行文补丁

①利用位移与时间的比值，去比较每 1 秒位移的大小。

②初中讲的速度是标量，是路程与时间的比值；高中讲的速度是矢量，是位移与时间的比值。

③瞬时速度。

反馈题答案

【反馈1】	
思维过程	解答过程
研究对象	跑步同学
情境图	

续表

适用规律	平均速度=$\frac{位移}{时间}$，平均速率=$\frac{路程}{时间}$
运算过程	（1）根据几何关系有 $s=\sqrt{2}R=84.8\text{m}$ 根据平均速度定义有 $\overline{v}=\frac{s}{t}=\frac{84.8\text{m}}{10\times60\text{s}}=0.14\text{m/s}$，方向西偏南45° 语言描述：“该同学平均每一秒，沿西偏南 45° 方向位置变化 0.14m” （2）走过的路程 $s'=\frac{7}{4}\times2\pi R=659.4\text{m}$ 根据平均速率定义有 $\overline{v}'=\frac{s'}{t}=\frac{659.4\text{m}}{10\times60\text{s}}=1.1\text{m/s}$

1.（1）前10s的平均速度的大小为0.8m/s，方向为正东。
（2）20s内的平均速度的大小为0.57m/s，方向为东偏南45° 。

2. 平均速度 $\overline{v}=\frac{s}{t}$，甲、乙的位移都为零，所以他们的平均速度也都等于零。在这里平均速度无法显示他们运动快慢的不同，要用到另一物理量：平均速率。平均速率等于物体运动通过的路程跟所用时间的比值。他们两人通过的路程相同且都不为零，但所用时间不同。显然用时短的运动得快，也就是平均速率大。

3. ABD。

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 平均速度
★ 平均速率　标签1
★ 瞬时速度
★ 瞬时速率　标签3

方法的形成

★ 会利用画图和语言来描述物体速度的大小和方向　标签2
★ 会利用平均速度的定义和无限缩小的思想，来测量运动物体的瞬时速度　标签4

三、点拨与提高

音障与音爆

音障是一种物理现象，当物体（通常是航空器）的速度接近音速时，将会逐渐追上自己发出的声波。声波叠合累积的结果，会造成震波（Shock Wave）的产生，进而对飞行器的加速产生障碍，而这种因为音速造成提升速度的障碍称为音障。

突破音障进入超音速后，从航空器最前端起会产生一股圆锥形的音锥，在旁观者听来这股震波有如爆炸一般，故称为**音爆**或**声爆**（Sonic Boom）。由于在物体的速度快要接近音速时，周边的空气受到声波叠合而呈现非常高压的状态，因此一旦物 体穿越音障后，周围压力将会陡降。在比较潮湿的天气，有时陡降的压力所造成的瞬间低温可能会让气温低于它的露点（Dew Point）

温度，使得水汽凝结变成微小的水珠，肉眼看来就像是云雾般的状态。由于这个低压带会随着空气离机身的距离增加而恢复到常压，因此整体看来形状像是一个以物体为中心轴、向四周均匀扩散的圆锥状云团，如图 1-3-4 所示。

（摘自 http://baike.baidu.com/view/43771.htm）



图1-3-4

http://imgsrc.baidu.com/baike/pic/item/9864a2311d3b71bb5edf0ecb.jpg

第四节　实验：用打点计时器测速度

体验篇



参加人员：两位同学A和B。

器材：一张白纸和一支笔。

步骤：

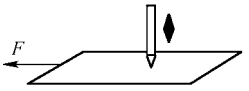


图1-4-1

① A 同学将一张白纸平放在桌面上，并用手捏住白纸的一端。

② B 同学用笔尖垂直敲击白纸。敲击的要求：时间间隔尽量相等，并保持敲击位置不变。

③在 B 同学敲击的过程，A 同学沿桌面将白纸拉出。可以匀速拉出，也可以变速拉出。 标签4

艾爷爷：“纸带上的痕迹保留两种信息，一个与 A 同学有关，一个与 B 同学有关，你知道是什么吗？”

机灵鬼：“_____①”

艾爷爷：“B 同学敲击的时间间隔相同几乎是不可能实现的，利用打点计时器来代替 B 同学可以优化这个实验，先来看看它的工作原理吧。”

学习篇

一、打点计时器的工作原理

纸带穿过工作的打点计时器就会留下黑色的点迹。

图 1-4-2 的甲图叫电磁式打点计时器。有电流通过打点计时器的线圈时，线圈产生的磁场将钢片磁化了。磁化的钢片就会受到永磁体的作用，如图 1-4-2 的乙图所示。若通过线圈的是交变电流（方向周期性变化的电流），根据右手螺旋定则，线圈的磁极就会交替变化，从而使钢片上下振动，如图 1-4-2 的丙图。固定在钢片右端的撞针，在钢片的带动下周期性地撞击复写纸，这样就在纸带上留下了黑色的痕迹。 标签1

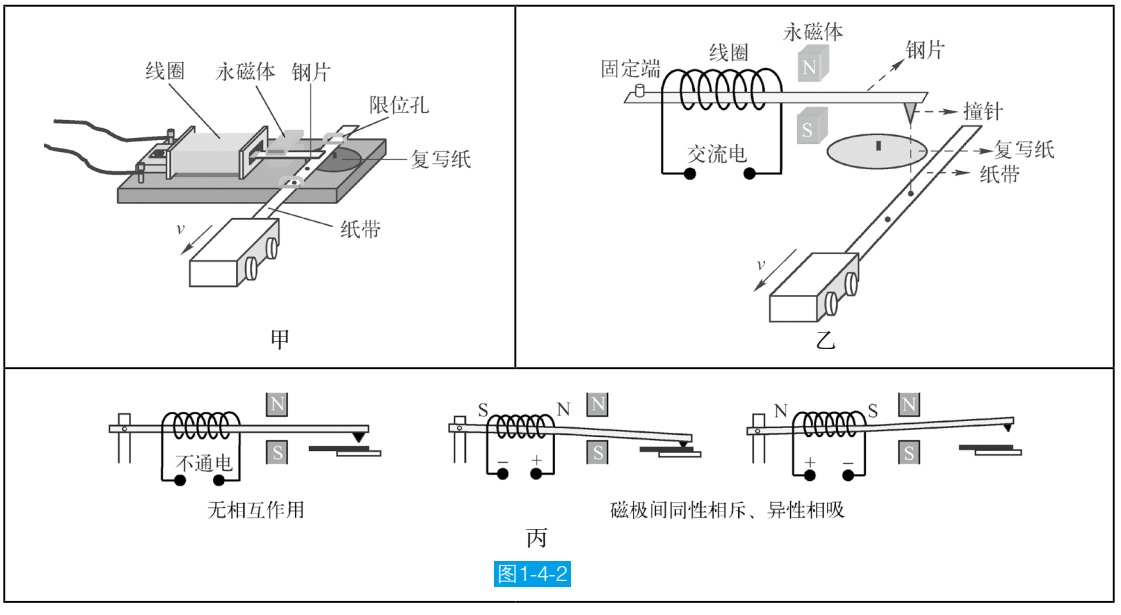


图1-4-2

标签2 实验室中还有另一种电火花计时器，它的工作原理是利用高压放电，将导电纸上的墨粉粘在纸带上留下痕迹。

不论是电火花计时器还是电磁式打点计时器，它们的共同特点是工作频率为 50Hz，在纸带上每打两个点的时间间隔都是 0.02s，这就是它们能计时的原因。为了方便，今后我们将两种计时器统称为**打点计时器**。

二、利用纸带上的点迹测量运动物体速度的方法



艾爷爷：“与我们用笔在草稿纸上打点不同，计时器打点的时间间隔都是准确的 0.02s。那么如果小车分别做匀速运动和加速运动，纸带上留下的点迹有什么不同吗？”

小芳：“这个我知道！如果小车做匀速运动，纸带上留下两个点迹之间的距离是均匀的；如果小车做加速运动，纸带上留下两个点迹的距离是逐渐变大的。”

艾爷爷：“你能打两条纸带来回答这个问题吗？”

小芳：“没问题！”

很快小芳从实验室中带回来两条纸带，如图 1-4-3 所示。

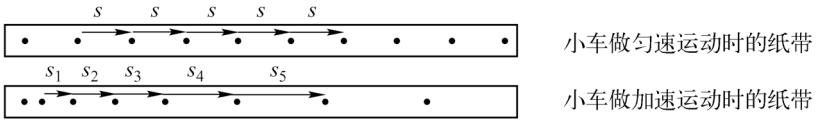


图1-4-3

艾爷爷：“非常的好！因为计时器每隔 0.02s 打一个点，所以小车运动越快，纸带上两个点迹的间距就越大。纸带的点迹还可以告诉我们很多信息呢！先来看看如何利用纸带上的点迹获得小车不同时刻的瞬时速度！”

1. 会在纸带上选取合适的点迹作为研究对象



首先，在纸带上选取一段清晰的、相邻间距较大的点迹作为研究对象（这是因为测量的长度越大，测量结果的相对误差就越小）。

然后，在纸带上用英文字母 *A*、*B*、*C*、*D*…标注出需要研究的点迹。为了方便，一般选取点迹之间的时间间隔都是相等的。如图 1-4-4 所示，相邻两字母对应点迹的时间间隔都是 0.06s。

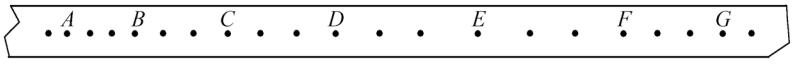


图1-4-4

2. 会根据所选点迹计算小车的瞬时速度



标签3 如图 1-4-5 所示，以 *C* 点为例。根据瞬时速度的计算方法，只要测量出 *C* 点和它相邻点迹的距离 s_3，然后除以对应的时间间隔 t=0.02s，就可以近似得到计时器打下 *C* 点时小车运行的速度。

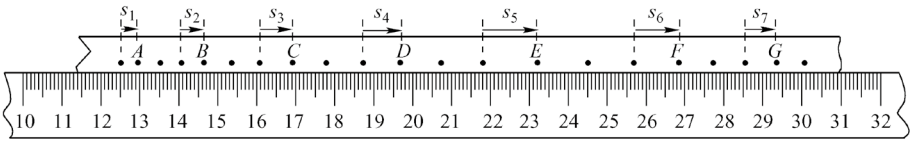


图1-4-5

$$v_C=\frac{s_3}{t}=\frac{0.0085\text{m}}{0.02\text{s}}=0.43\text{m/s}$$

对于高中的物理实验，0.02 的时间间隔已经足够短，利用这个时间间隔计算出来的瞬时速度，可以满足高中物理实验的精度要求。

3. 会确定点迹对应的时刻

会实验

为了准确地描述小车的速度变化情况，还需要确定点迹 A、B、C、D…所对应的时刻。例如规定打点计时器在打下 A 点时为 0 时刻，那么在图 1-4-6 中 B、C、D、E、F…对应的时刻依次为 0.06s、0.12s、0.18s、0.24s、0.30s…

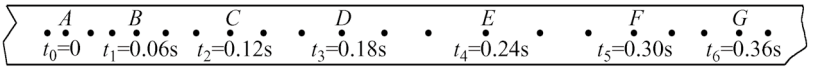


图1-4-6

标签4

4. 会用表格记录数据

会实验

在初中实验中已经用过表格来记录数据，在高中这个方法同样重要，因为实验涉及到的数据更多，数据之间的联系也更为复杂。

实验进行到这里，细心的你会发现图 1-4-5 和图 1-4-6 中共有 4 项数据需要记录，而表格可以清晰地将它们展现出来。

表1-4-1

字　母	A	B	C	D	E	F	G
对应时刻t/s	0	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36
计算速度的位移s_i/m	0.0045	0.0060	0.0085	0.0100	0.0142	0.0115	0.0080
计算速度的时间间隔Δt/s	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
瞬时速度$v_i=(s_i/\Delta t)$/m·s^{-1}	0.23	0.30	0.43	0.50	0.71	0.58	0.40

表格是物理实验记录数据的常用方法，也是一种良好的科学习惯。

三、利用图像描述小车的运动情况



艾爷爷：“物理学非常关注运动物体速度随时间变化的规律，因为一旦了解了这个规律就可以通晓运动物体的过去和预知它的未来。下面我们学习一种可以更直观地表示速度随时间变化规律的方法：绘制物体的速度 – 时间图像。”

会绘制速度–时间图像（也叫做v-t图像）

会实验

艾爷爷：“一条从打点计时器上穿过的纸带上既储存了时间、空间这两个物理量，也间接地储存了速度这个物理量。由于它们叠加在一起，很难一眼看出它们之间隐藏的规律。借助笛卡儿发明的直角坐标系，做出**速度 – 时间图像**就能解决这个问题。用直角坐标系的横轴表示时间、纵轴表示速度，这两个物理量之间的联系就清晰可见了。”

根据表格 1-4-1 的数据，利用描点作图将瞬时速度和对应的时刻绘制在下方的速度 – 时间图像上，这样我们就可以清晰地看出小车速度随时间变化的规律。

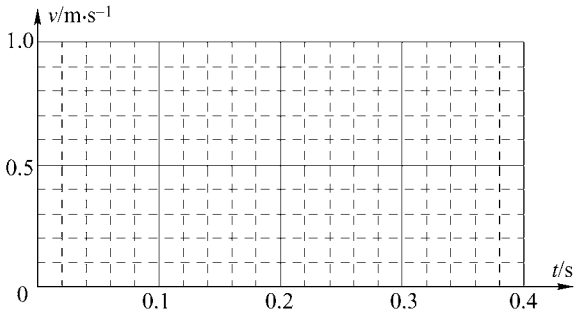
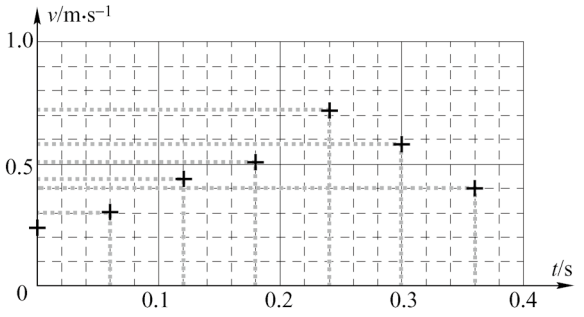
【例题1】

根据表1-4-1的数据中的瞬时速度和对应的时刻，利用描点作图将其绘制在下方的速度–时间图像上。这样我们就清晰地看出了小车速度随时间变化的规律

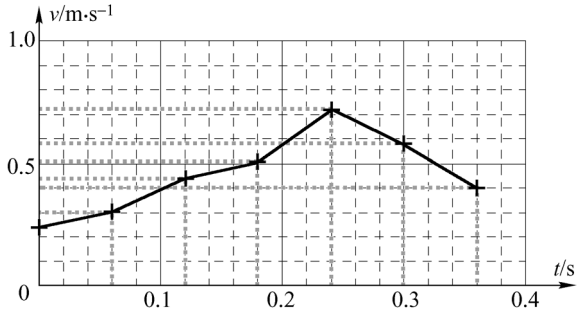
续表

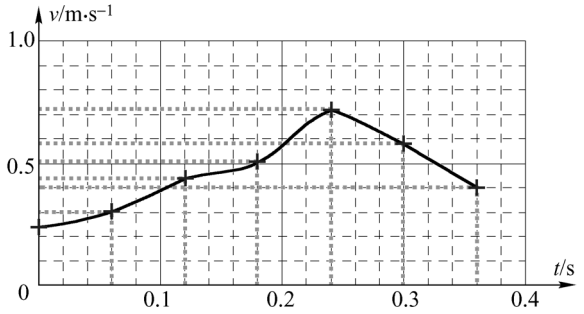
字　　母	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*
对应时刻*t*/s	0	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36
瞬时速度*v*/m·s^{-1}	0.23	0.30	0.43	0.50	0.71	0.58	0.40

绘制具体操作如下

思维操作	解答过程
建坐标轴	（1）定轴：时间是自变量，速度是因变量，故时间*t*为横轴，速度*v*为纵轴 （2）定单位：时间最大值为0.36s，且间隔相同，定横轴的最小分度为0.02s。速度最大值为0.7m/s，定纵轴的最小分度0.10m/s （3）定原点：定原点的数值，一般定横、纵坐标均为0，用一个0来表示。但是今后有不少特例 
描点	（1）将表1-4-1中*A*时刻所对应的速度分别描在横轴、纵轴上，做两坐标的垂线其交点即为*A*在*v*-*t*上的位置，用“+”做标记 （2）依次类推，描出所有点来 

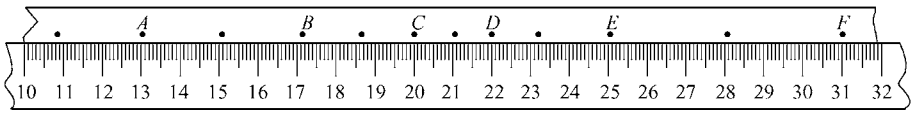
续表

<table>
<tr><td>连线</td><td>（1）为了判断速度随时间变化的趋势，则可以用直线将各点连接起来


（2）但小车速度的变化往往是比较平滑的，所以用光滑的曲线将各个点连接起来，这样可能会更接近小车速度随时间变化的实际情况

</td></tr>
<tr><td>寻规律</td><td>由图像可知，纸带速度随时间变化的大趋势是：初速度为0.23m/s，速度先增加，增加到0.71m/s后，速度减小，直到在0.36s时，速度减小为0.40m/s
还可以从图像看出，“坡度”越大的时间段速度变化得越快。比如，在 0 到 0.06s 内速度变化较慢，而 0.18s 到 0.24s 内速度变化较快</td></tr>
<tr><td>会操作</td><td>根据实验数据绘制图像是发现物理规律的重要方法。按照“轴、点、线”的顺序就可以帮助你绘制出能反映物理规律的图像</td></tr>
</table>

【反馈1】

这是一位同学用手拉动纸带得到的点迹，并在纸带上选取了要研究的点迹



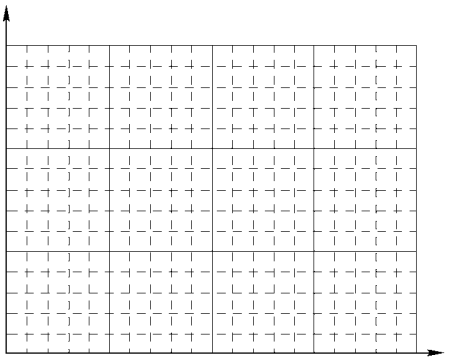
（1）请在纸带上标出为了计算瞬时速度的位移

（2）请根据纸带上的点迹和你所标注的位移，填写下面的表格

续表

位　　置	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*
对应时刻t/s	0					
计算速度的位移s_i/m						
计算速度的时间间隔Δt/s						
瞬时速度$v_i=(s_i/\Delta t)$ /m·s^{-1}						

（3）请绘制该纸带的速度–时间图像

思维操作	解答过程
建坐标轴	
描点	
连线	
寻规律	

我的整理箱

知识的梳理

★

★

方法的形成

★

★

结构图

知识体系

思维操作

会处理纸带的操作过程

描点作图的操作过程

指导篇

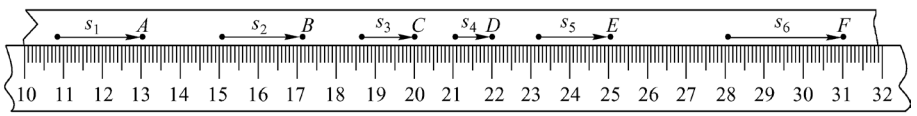
一、参考答案

行文补丁

①空间信息和时间信息

反馈题答案

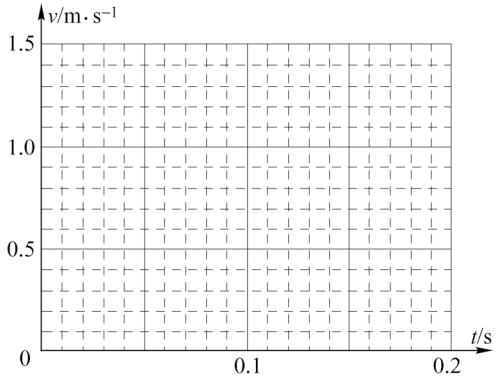
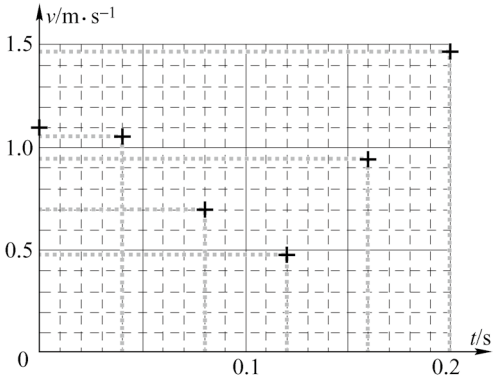
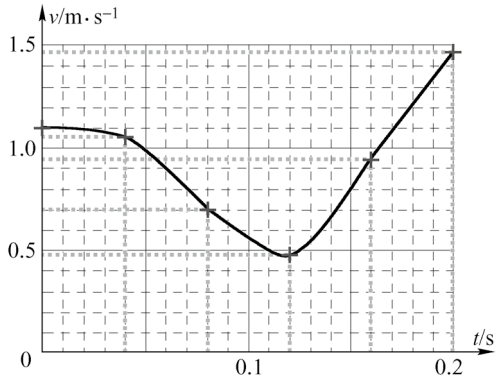
【反馈1】



位　　置	A	B	C	D	E	F
对应时刻t/s	0	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20
计算速度的位移s_i/m	0.0220	0.0210	0.0140	0.0095	0.0187	0.0295
计算速度的时间间隔Δt/s	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
瞬时速度$v_i=(s_i/\Delta t)$ /m·s^{-1}	1.10	1.05	0.70	0.48	0.94	1.48

思维操作	解答过程

续表

建坐标轴	
描点	
连线	
寻规律	从速度–时间图像可以看出，手拉动纸带的速度在0时刻的速度为1.10m/s，然后速度的变化趋势是先减小后增大。最小速度为0.48m/s，最大速度为1.48m/s 从速度–时间图像还可以看出0到0.04s内速度变化较慢，而0.12s到0.20s内速度变化较快

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 打点计时器的工作原理　标签1

★ 电火花计时器的工作原理　标签2

方法的形成

★ 利用纸带测量瞬时速度的方法　标签3

★ 在纸带上确定时刻的方法　标签4

结构图

知识体系　　**思维操作**

处理纸带的操作过程

在纸带上选取合适的点作为研究对象

↓

利用平均速度公式计算所选点的瞬时速度

↓

用表格记录各点的时刻、速度、位移等数据

↓

绘制速度—时间图像

描点作图的操作过程

采集数据，填写表格

↓

确定会标轴的物理量、单位

↓

根据测量数据的范围，确定坐标轴的最小分度

↓

根据表格的数据描绘数据点

↓

将各个数据点用不同的线段进行拟合寻找规律

三、点拨与提高



艾爷爷：“这是用高速摄影机拍摄到的子弹穿过苹果瞬间的照片（图 1-4-7）。该照片经过放大后分析出，在曝光时间内，子弹影像前后错开的距离约为子弹长度的 1% ~ 2%。已知摄像机的曝光时间在 10^{-6}s 左右。请问，你们谁能根据照片测算出子弹飞行的速度？”

大家都在思考中……

阿牛：“什么叫曝光时间？”

艾爷爷：“生活中，很多人认为照片记录的是某一瞬间的影像。

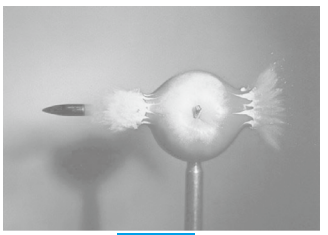


图1-4-7

http://www.kaacaa.cn/wz/pdjq/2670.html

其实当我们按下照相机快门，听到的“咔嚓”声对应着一段短暂的时间间隔。这段时间内，外部的光线进入了照相机的内部。一般情况下，“咔嚓”声所对应的时间为 1/60 秒或 1/125 秒，这个短暂的时间就是所谓曝光时间。”

阿牛：“‘在曝光时间内，子弹影像前后错开的距离约为子弹长度的 1% ~ 2%’这句话是什么意思？”

小芳：“这个我知道。运动快的物体在照片中留下的痕迹都是模糊的。我给你画个图（1-4-8）就明白了。曝光开始时，子弹在照片上是虚线的位置；曝光结束时，子弹在照片上是实线的位置。这两个位置错开的距离约为子弹长度的 1% ~ 2%。”

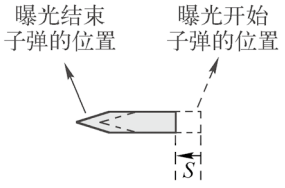


图1-4-8

阿牛：“问题是照片上子弹的尺寸和实际尺寸可能不一样，我们还是不知道子弹前进的位移大小。”

大家又在思考中……

艾爷爷：“我给大家一个提示，虽然照片不能反映物体的实际大小，但我们天天吃苹果，一个苹果的大小我们还是可以估计出来的。”

阿牛：“我明白了，苹果的大小约为 10cm。再根据照片上子弹和苹果的比例可知，子弹的大小约为 3cm。这样就可以计算子弹的速度啦！”

$$v \approx \frac{\text{子弹的长度} \times 1\%}{\text{曝光时间}} = \frac{0.03 \times 1\%\text{m}}{10^{-6}\text{s}} = 300\text{m/s}$$

艾爷爷：“这是 2007 年的一道高考题，当时难住了很多人。不知大家读到这里是否发现了瞬时速度的测量原理其实都是一样的？”

第五节　速度变化快慢的描述——加速度

体验篇



小芳：“艾爷爷，看看我们在游乐场拍的照片（图1-5-1和图1-5-2）。”

艾爷爷：“过山车，蹦极！问个问题，玩过山车和蹦极时，你们体验的刺激是速度带来的吗？”



图1-5-1

http://www.gndaily.com/NEWS/2005-5/2005520152636.htm



图1-5-2

http://www.5yi.com/city/view_topic/78256

小芳：“应该是吧，速度越快感觉就越强烈。”

阿牛：“好像不对，我坐飞机时在中途平稳飞行阶段的速度大于过山车的速度，为什么我没有坐过山车的感觉呢？”

艾爷爷：“还有哪些时候让你有坐过山车般的感觉？”

阿牛：“电梯下降时，打秋千向下荡的时候。”

机灵鬼：“我发现了，这些都和速度的变化有关。”

我们走路、跑步、乘坐交通工具的过程都在不停地发生着速度的改变。飞机起飞和降落的过程，电梯启动、停止时也会给我们带来略微不适的感觉。速度改变越快，我们身体的感觉就会越强烈。比如汽车刹车和汽车缓慢停下来，我们的身体感觉完全不同。

速度变化的快慢，是个很重要的信息，因此我们需要建立一个新的物理量——加速度，用来描述速度变化的快慢。

学习篇

一、加速度



1. 速度变化与速度变化快慢

艾爷爷：“我用照相机每间隔 1s 曝光一次拍摄照片，绘制出一个运动员不同时刻的运动情况，如图 1-5-3 所示。

为了更好地和大家讨论速度变化以及速度变化的快慢，先请大家将下面的表格填写完整。机灵鬼不许偷懒啊！”

标签1

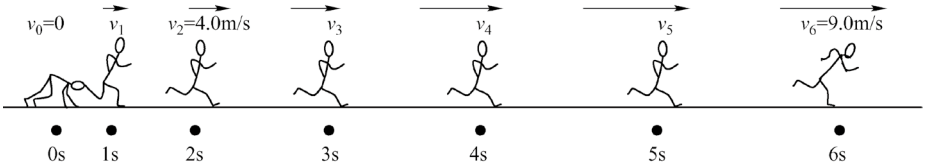


图1-5-3

表1-5-1

时刻t (s) / 物理量（单位）	0	2	6
速度v_i (m/s)			
研究的时间段	0到2s末	2s末到6s末	
时间间隔$\Delta t = t_j - t_i$ (s)			
速度变化量$\Delta v = v_j - v_i$ (m/s)			
平均每秒速度发生的变化 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ (m/s^2)			

艾爷爷：“对比表格中的数据，两个时间段相比，哪个阶段的速度变化大？哪个阶段的速度变化快？”

从表格“倒数”第二行中大家得到的信息是：第二个阶段（2s 到 6s 末）比第一个阶段（0s 到 2s 末）的**速度变化大**。第一个阶段速度变化了 4.0m/s，第二个阶段速度变化了 5.0m/s。

标签2

速度变化量$\Delta v = v_j - v_i$ (m/s)	4.0	5.0

标签3

但从表格的最后一行中大家得到的信息是：第一个阶段（0s 到 2s 末）比第二个阶段（2s 到 6s 末）的速度变化快。因为第一个阶段每一秒钟速度变化了 2.0m/s，第二个阶段每一秒钟速度变化了 1.25m/s。

标签4

平均每秒速度发生的变化 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ (m/s^2)	2.0	1.25

2. 加速度

加速度的定义：**物体的速度变化与这一变化所用时间的比值就等于物体的加速度**。这个定义也告诉了我们计算物体加速度的办法。

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_0}{t - t_0}$$ （单位：m/s^2）

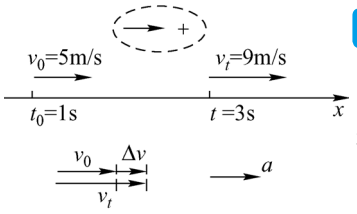
加速度是矢量，代表单位时间内的速度变化量，因此**加速度的方向与速度变化量的方向相同**。

【例题1】

艾爷爷的汽车在1s末的速度为5m/s，在3s末的速度变为同方向的9m/s，那么汽车的加速度为多少

思维过程	解答过程
研究对象	艾爷爷的汽车

续表

情境图	 会画图 （1）情境图：画出关键位置汽车的瞬时速度箭头和标注瞬时速度所对应的时刻，并规定向右为正 （2）矢量减法：将v_0和v_t的箭尾对齐，那么从v_0箭头到v_t箭头的有向线段就是Δv
运算过程	$a=\dfrac{v_t-v_0}{t-t_0}=\dfrac{(+9)-(+5)}{3-1}\text{m/s}^2=2\text{m/s}^2$
会说话	**艾爷爷：**“你在书上一定能看到类似的例题和求解过程，但到这里你千万不能停下来，不然你就与加速度的本质擦肩而过了。还有一个关键的步骤：如果让你用语言来描述一下计算的结果，你该如何说呢？” 2m/s^2的加速度说明每一秒汽车的速度增加了2m/s。用嘴说出来才能证明你真的会了。最好能大声地说给同学、父母听！

标签5

【反馈1】	
艾爷爷的汽车在1s末的速度为9m/s，在3s末的速度变为同方向的5m/s，那么汽车的加速度如何？	
思维过程	解答过程
研究对象	
情境图	
运算过程	

3. 判断物体做加速运动或减速运动的依据

从【例题1】中可以看到做加速运动时，汽车的加速度a与初速度v_0是同向的；从【反馈1】中可以看出做减速运动时，汽车的加速度a与初速度v_0是反向的。通过这样的总结就得到了判断物体做加速或减速运动的依据：

标签6

当加速度 a 与初速度 v_0 同向时，物体做加速运动；

当加速度 a 与初速度 v_0 反向时，物体做减速运动。

二、*v-t* 图像中的加速度

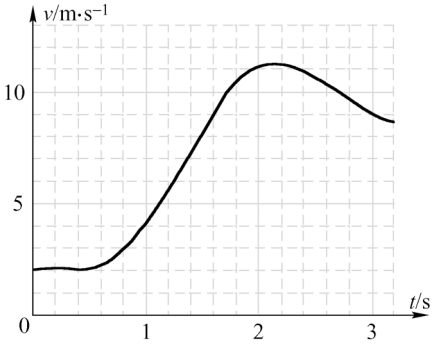
艾爷爷：“在上一节，我们已经学习了绘制速度－时间图像的方法，以及利用图像找到物体的速度随时间变化的规律。其实速度－时间图像还隐含了另一个重要信息：物体的加速度。”

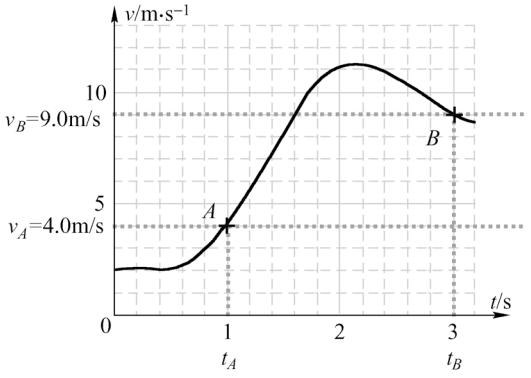
小芳：“我怎么没有看到？”

艾爷爷：“别着急，马上揭晓！”

【例题2】

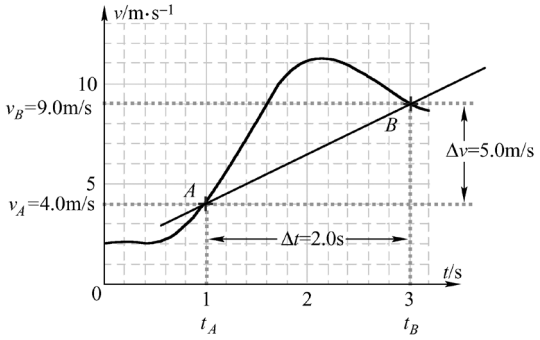
这是一幅速度–时间图像，请根据图像上的信息求出1s末到3s末的加速度



思维操作	解答过程
坐标轴	横轴代表时间，纵轴代表速度
描点	（1）根据题目的要求，用“+”标出要研究的关键点 （2）用虚线确定关键点的横纵坐标值 会画图 
线	从速度图线可以看出1s末到3s末物体的速度先增加后减小
斜率	（1）在图中标出纵坐标的差值Δv和横坐标的差值Δt （2）根据加速度定义可知，在1s末到3s末的加速度大小为 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_B-v_A}{t_B-t_A}=\frac{5.0}{2.0}\text{m/s}^2=2.5\text{m/s}^2$ （3）画一条过A、B点的直线。在数学中，直线AB的斜率就被定义为直线上两点的纵坐标差值与横坐标差值的比值。斜率用k来表示

标签7

续表

斜率	$k=\frac{v_B-v_A}{t_B-t_A}=\frac{5.0}{2.0}\text{m/s}^2=2.5\text{m/s}^2$ **艾爷爷：**“大家明白了吗？直线 AB 的斜率的物理含义就是 1s 末到 3s 末物体的加速度大小。” 
会操作	根据实验数据绘制图像是发现物理规律的重要方法。按照“轴、点、线、斜率”的顺序求出一段时间内物体的加速度

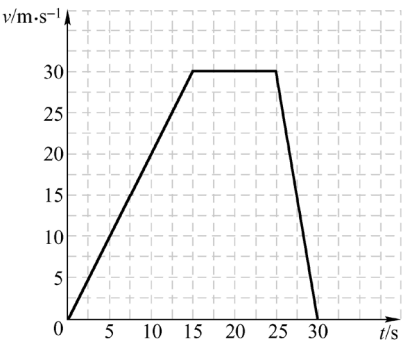
艾爷爷：“前面我们学习了通过‘建轴——描点——连线’来绘制物体运动的速度－时间图像，从而了解物体速度随时间变化的规律。今天我们又学习了通过计算‘斜率’来求物体的加速度。下面轮到你来试试啦！”

【反馈2】

从这个做直线运动的物体的速度–时间图像看出，物体的运动过程可以分为3个阶段

（1）请用语言描述物体在不同阶段的运动情况

（2）请利用图像求出物体运动过程的三个阶段的加速度



思维操作	解答过程
坐标轴	
描点	（请在题目原图上描点）
线	

续表

斜率	

我的训练营

1. 法拉利F430（图1-5-4）从速度为0加速到100km/h约为4s，最高极速达315km/h。求：
（1）它从速度为0加速到100km/h的平均加速度？
（2）若保持此加速度不变，从100km/h加速到最高极速需要多长时间？



图1-5-4
http://www.chinaengine.cn/automobile/gouche/guowaixinche/2009-02-03/20090203224846_91070_3.html

2. 汽车在2s末的速度为5m/s，在9s末的速度变为反方向的9m/s，那么汽车的加速度为多少？

3. 图1-5-5是一个运动质点a、b的速度–时间图像。
（1）$t=0$时刻，两个质点速度方向是相同，还是相反？
（2）计算质点b在30s内的速度变化量。
（3）判断两质点的加速度的大小和方向关系。

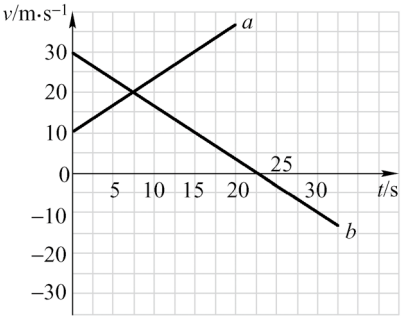


图1-5-5

我的整理箱

知识的梳理

★
★
★
★

方法的形成

★
★
★

结构图

知识体系

思维操作

如何判断物体做加速直线运动或减速直线运动

指导篇

一、参考答案

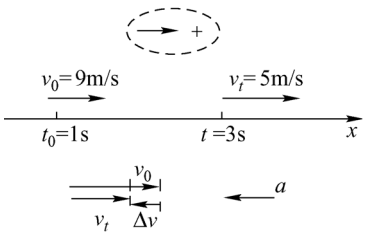
行文补丁

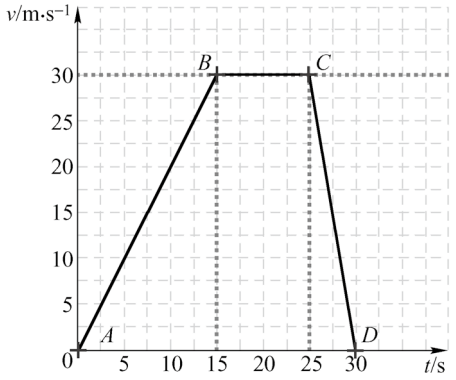
表1-5-2

时刻t (s) / 物理量（单位）	0	2	6
速度v_i (m/s)	0	4.0	9.0
研究的时间段	0到2s末	2s末到6s末	
时间间隔$\Delta t = t_j - t_i$ (s)	2	4	
速度变化量$\Delta v = v_j - v_i$ (m/s)	4.0	5.0	
平均每秒速度发生的变化$\frac{\Delta v}{\Delta t}$（m/s²）	2.0	1.25	

反馈题答案

【反馈1】

思维过程	解答过程
研究对象	艾爷爷的汽车
情境图	 会画图 （1）情境图：画出关键位置汽车的瞬时速度箭头和标注瞬时速度所对应的时刻，规定向右为正 （2）矢量减法：将v_0和v_t的箭尾对齐，那么从v_0箭头到v_t箭头的有向线段就是Δv
运算过程	$a=\frac{v_t-v_0}{t-t_0}=\frac{(+5)-(+9)}{3-1}\text{m/s}^2=-2\text{m/s}^2$ “–”号说明加速度a与规定的正方向相反

【反馈2】	
思维操作	解答过程
坐标轴	横轴代表时间，纵轴代表速度
描点	
线	前15s：物体从静止开始做加速直线运动 15s~25s：物体的速度不变，即做匀速直线运动 25s~30s：物体做方向不变，但速度减小的直线运动，直到速度为零
斜率	前15s：$a_{AB}=k_{AB}=\frac{v_B-v_A}{t_B-t_A}=\frac{30-0}{15-0}\text{m/s}^2=2\text{m/s}^2$ 15s~25s：$a_{BC}=k_{BC}=\frac{v_C-v_B}{t_C-t_B}=\frac{30-30}{25-15}\text{m/s}^2=0$ 25s~30s：$a_{CD}=k_{CD}=\frac{v_D-v_C}{t_D-t_C}=\frac{0-30}{30-25}\text{m/s}^2=-6\text{m/s}^2$

训练营答案

1.（1）6.9m/s^2；（2）8.6s

2. 2m/s^2

3.（1）相同，因为它们的速度都为正值；（2）$\Delta v_b=-40\text{m/s}$；（3）$a_a=1.3\text{m/s}^2$，$a_b=-1.3\text{m/s}^2$。它们大小相同，但方向相反

二、整理箱提示

知识的梳理

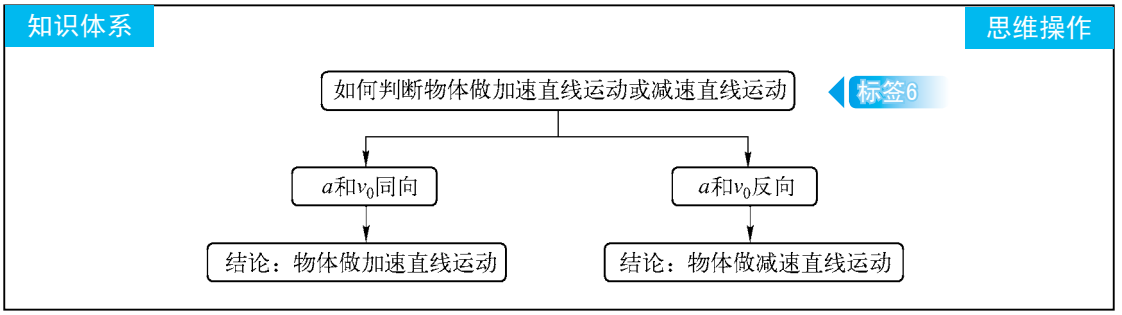
★ 速度变化大 标签2
★ 速度变化快 标签3
★ 加速度 标签4
★ 斜率 标签7

方法的形成

★ 利用情景图来表示物体运动的时刻和对应的瞬时速度 标签1
★ 矢量减法的绘制方法 标签5
★ 会利用速度时间图像确定物体在某个时间段内的加速度 标签7

结构图

知识体系　　思维操作



三、点拨与提高

1. 平均加速度和瞬时加速度

按照加速度的定义，加速度是物体的速度变化量与这一变化所用时间的比值。

$$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_t-v_0}{t-t_0}$$

该公式计算的是一段时间 Δt 内物体的平均加速度。那么如何计算物体运动的瞬时加速度呢？

其实认真学习过第三节平均速度和瞬时速度的同学应该早已经知道了答案。那就是，当我们研究极短时间内（$\Delta t \to 0$）物体的运动过程时，利用加速度定义式计算出来的结果就是瞬时加速度。

2. 速度–时间图像中的瞬时加速度

在例题 1 中我们已经了解到直线 AB 的斜率就反映了 1s 末至 3s 末物体的加速度，准确地说是 **1s 末至 3s 末的平均加速度**。那么，**3s 末的瞬时加速度**应该用哪条直线的斜率来表示呢？这个问题我们用动态的过程来回答。

直线 AB 的斜率：反映了 1s 末到 3s 末物体的平均加速度。

直线 A_1B 的斜率：反映了 1.4s 末到 3s 末物体的平均加速度。

直线 A_2B 的斜率：反映了 1.8s 末到 3s 末物体的平均加速度。

可以想象，当我们把 A 点取得离 B 点越近，过 AB 点的直线所对应的时间就越短，这条直线的斜率所代表的平均加速度就约接近 3s 末的瞬时加速度。

继续将 A 点向 B 点靠近，最后 A 点和 B 点重合时，过 AB 点的直线其实就成了过 B 点的切线，如图 1-5-6 中灰色直线。此切线的斜率就代表了 3s 末的瞬时加速度。

从图线中可以看出灰色直线的斜率 k = 2.5m/s^2。也就是说运动物体在 3s 末的瞬时加速度为 2.5m/s^2。

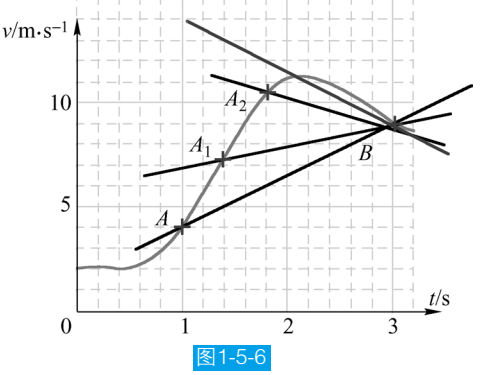


图1-5-6

3. 初、高中知识的比较和梳理（见表1-5-3）

表1-5-3　初、高中知识的比较和梳理

内容 \ 年级			初　中	高　中
研究对象		物体　质点	物体	质点
运动的描述	空间	位置		物体某一时刻在空间的位置
		坐标系		在参考系中建立的一种描述质点空间位置的系统
		参照物 参考系	参照物：在研究物体运动时假设不动的物体	参考系：在研究物体运动时假设不动的物体系统
		距离	任意两点之间的直线长度	
		路程	物体运动所经过轨迹的长度	
		位移		由运动物体的初位置指向末位置的有向线段（矢量）。既描述了位置变化的大小，也描述了位置变化的方向
运动的描述	时间	时刻		钟表上某一瞬间的读数
		时间		钟表上两个时刻的差值
		时间轴		用一维坐标轴表示时间的几何方法：箭头的方向代表了时间流逝的方向，轴上的点表示时刻，两点之间的线段长表示时间间隔
	运动快慢	平均速度	速度$=\frac{\text{路程}}{\text{时间间隔}}$	平均速度$=\frac{\text{位移}}{\text{时间间隔}}$（矢量）
		平均速率		平均速率$=\frac{\text{路程}}{\text{时间间隔}}$（标量）
		瞬时速度		物体在某时刻或某位置的速度
		瞬时速率		瞬时速度的大小叫做瞬时速率
	速度变化快慢	速度变化		速度的变化（既包括大小的变化，又包括方向的变化）
		加速度		速度变化的快慢

检测篇

一、检测题

1. 下列问题中，物体可以被看做质点的是（　　）

A. 研究蚂蚁爬行的路线

B. 研究两支蚂蚁打架

C. 研究太阳东升西落的轨迹

D. 研究日食

2. “坐地日行八万里，巡天遥看一千河”（　　）

A. “八万里”与地球的公转相关　　B. “八万里”与地球的自转相关

C. 人相对地球是运动的　　D. 人相对其他星体是运动的

3. 第一次世界大战时，一位法国飞行员在2000m高空飞行时，发现座舱边有一个与他几乎相对静止的小“昆虫”，他顺手抓过来一看，原来是一颗子弹。发生这个故事是因为（　　）

A. 子弹静止在空中　　B. 子弹与飞机的速度很接近
C. 飞机飞行得很慢　　D. 子弹飞行得很慢

4. 关于位移和路程的关系正确的是（　　）
A. 参加百米赛跑的运动员，其路程和位移的大小是相等的
B. 参加800米比赛的运动员，其路程和位移的大小是相等的
C. 物体的位移不为零，路程也一定不为零
D. 物体的位移为零，路程也一定为零

5. 下列关于速度的说法中正确的是（　　）
A. 速度是描述物体位置变化的物理量
B. 速度是描述物体位置变化大小的物理量
C. 速度是描述物体位置变化快慢的物理量
D. 速度是描述物体运动路程和时间关系的物理量

6. 有关瞬时速度、平均速度、平均速率，下列说法中正确的是（　　）
A. 瞬时速度是物体在某一位置或某一时刻的速度
B. 平均速度等于某段时间内物体运动的位移与所用时间的比值
C. 做变速运动的物体，平均速率就是平均速度的大小
D. 做变速运动的物体，平均速度是物体通过的路程与所用时间的比值

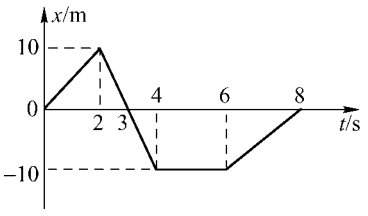
7. 以下关于加速度的描述，正确的是（　　）
A. 物体的速度大，则加速度大
B. 物体的速度变化大，则加速度大
C. 物体的速度变化快，则加速度大
D. 物体的速度变化率大，则加速度大

8. 以下几个情况中，物体做减速运动的是（　　）
A. $v_0>0, a>0$　　B. $v_0>0, a<0$
C. $v_0<0, a<0$　　D. $v_0<0, a>0$

9. 一个质点做方向不变的直线运动，加速度的方向始终和速度方向相同，但加速度大小逐渐减小直至为零，在此过程中（　　）
A. 速度逐渐减小，当加速度减小到零时，速度达到最小值
B. 速度逐渐增大，当加速度减小到零时，速度达到最大值
C. 位移逐渐增大，当加速度减小到零时，位移将不再增大
D. 位移逐渐减小，当加速度减小到零时，位移达到最小值

10. 一同学绕400米跑道跑了3圈，用时5分钟，此过程的平均速度为_____，平均速率为_____。

11. 一个物体运动的位置–时间图像如右图所示，规定向东为正方向。



（1）请描述物体的运动情况：
如：0到2s末，物体向东运动
2s末到3s末，_____
3s末到4s末，_____

4s末到6s末，_____

6s末到8s末，_____

（2）请回答下面速度的问题：

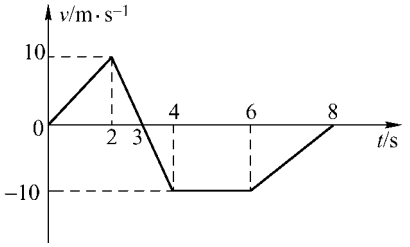
在2s末到3s末，物体的速度大小为_____，方向_____；

在3s末到4s末，物体的速度大小为_____，方向_____；

在4s末到6s末，物体的速度大小为_____，方向_____；

在6s末到8s末，物体的速度大小为_____，方向_____。

12．一个物体运动的速度–时间图像如下图所示，速度为正值时代表物体向东运动



（1）请描述物体的运动情况：

如：0到2s末，物体向东做加速运动

2s末到3s末，_____

3s末到4s末，_____

4s末到6s末，_____

6s末到8s末，_____

（2）请回答下面关于加速度的问题：

在2s末到3s末，物体的加速度大小为_____，方向_____；

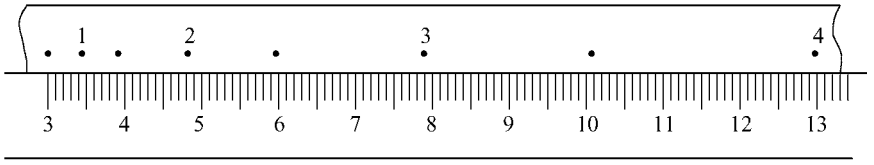
在3s末到4s末，物体的加速度大小为_____，方向_____；

在4s末到6s末，物体的加速度大小为_____，方向_____；

在6s末到8s末，物体的加速度大小为_____，方向_____。

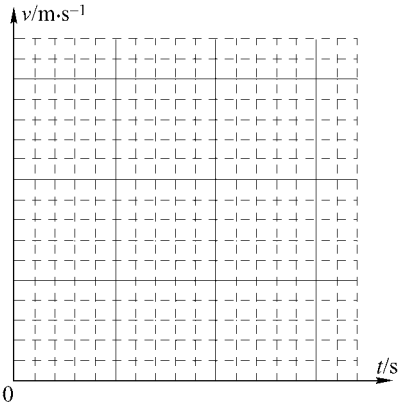
13．在测定小车速度的实验中，使用打点计时器获得一条纸带，如下图所示。将米尺靠在纸带上进行测量。

（1）图中所给的计数点2和3的读数分别是_____、_____。



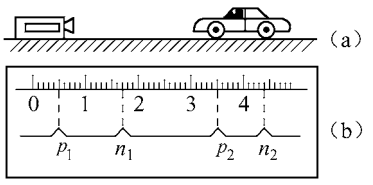
（2）请填写下面的表格，并在右边的速度–时间图像上进行描点。（速度计算结果保留到小数点后两位）

	t/s	v/m·s^{-1}
1	0	
2		
3		
4		



14．一个做直线运动的汽车，若在前一半位移的平均速度为v_1，后一半位移的平均速度为v_2，则汽车全程的平均速度为_____；若汽车在前一半时间的平均速度为v_1，后一半时间的平均速度为v_2，则汽车全程的平均速度为_____。

15．下图是在高速公路上用超声波测速仪测量车速的示意图，测速仪发出并接收超声波脉冲信号，根据发出和接收到的信号间的时间差，测出被测物体的速度，图（b）中p_1、p_2是测速仪发出的超声波信号，n_1、n_2分别是p_1、p_2由汽车反射回来的信号。设测速仪匀速扫描，p_1、p_2之间的时间间隔$\Delta t=1.0\text{s}$，超声波在空气中传播的速度是$v=340\text{m/s}$，若汽车是匀速行驶的，则根据图（b）可知，汽车在接收到p_1、p_2两个信号之间的时间内前进的距离是_____m，汽车的速度是_____m/s。



16．一辆汽车从原点O由静止出发沿x轴做直线运动，为研究汽车的运动而记下它在各时刻的位置和速度，见下表。

时刻t/s	15	15.1	24.9	25
位置s/m	0	0.90	36.7	37

求：

（1）从15s末到25s末的平均速度。

（2）第15s末和第25s末的瞬时速度。

（3）从15s末到25s末的加速度。

二、检测题答案

1. AC　2. BD　3. B　4. AC　5. C　6. AB　7. CD　8. BD　9. B　10. 0，4m/s

11.（1）向西运动；向西运动；静止；向东运动

（2）10m/s，向西；10m/s，向西；0，无；5m/s，向东

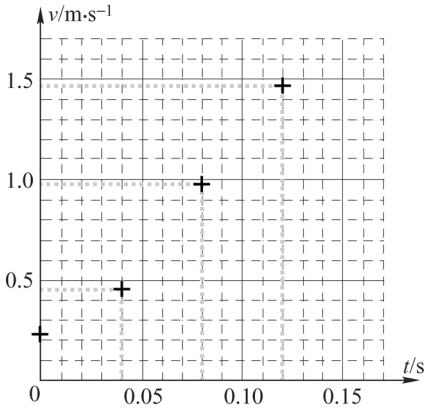
12.（1）向东做减速运动；向西做加速度运动；向西做匀速运动；向西做减速运动

（2）10m/s^2，向西；10m/s^2，向西；0，无；5m/s^2，向东

13.（1）4.88cm，7.98cm

（2）

	t/s	v/m·s^{-1}
1	0	0.23
2	0.04	0.47
3	0.08	0.98
4	0.12	1.48

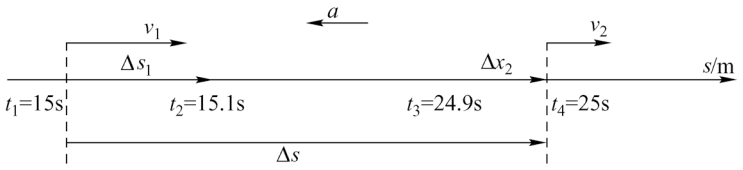


14. $\frac{2v_1v_2}{v_1+v_2}$，$\frac{v_1+v_2}{2}$

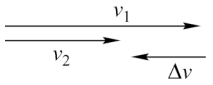
15. 17，17.9

16.【标准解题过程】

第一步：画出情境图，在图上标出相应的“四个时刻”“三个位移”“两个瞬时速度”和“加速度”



第二步：利用两个瞬时速度绘制出速度变化量



第三步：利用公式求出“从15s末到25s末的平均速度”

$$\overline{v}=\frac{\Delta s}{\Delta t}=\frac{\Delta s}{t_4-t_1}=\frac{37}{10}\text{m/s}=3.7\text{m/s}$$

第四步：利用公式求出“第15s末的瞬时速度”“第25s末的瞬时速度”

$$v_1=\frac{\Delta s_1}{\Delta t_1}=\frac{\Delta s_1}{t_2-t_1}=\frac{0.90}{0.1}\text{m/s}=9\text{m/s}$$

$$v_2=\frac{\Delta s_2}{\Delta t_2}=\frac{\Delta s_2}{t_4-t_3}=\frac{0.3}{0.1}\text{m/s}=3\text{m/s}$$

第五步：利用公式求出“从15s到25s末的加速度”

$$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_2-v_1}{t_4-t_2}=\frac{3-9}{25-15}\text{m/s}^2=-0.6\text{m/s}^2$$

我的收藏夹

Chapter 2

第二章　匀变速直线运动的研究

学习指导语

进入这一章，我们要研究一种新的运动——匀变速直线运动。你会发现描述匀变速直线运动的规律要比描述匀速直线运动的规律复杂。对于本章的学习，我们要注意以下两点：

首先，物理规律得出的过程比物理规律本身更重要。比如匀变速直线运动的概念是如何从实验中总结归纳出来的？一些重要公式是如何结合图像推导的？弄懂这些问题比简单机械地记忆公式重要得多。

此外，在求解问题时，对于众多的公式如何选择也是一个值得思考的问题。建议读者多尝试“一题多解”，这是积累经验的好方法。

第一节　匀变速直线运动

体验篇

这天晚上，艾爷爷带着阿牛、小芳和机灵鬼来到奥体中心“鸟巢”观看奥运会田径决赛。

一声发令枪响，参加百米决赛的运动员箭一样冲出起跑线。所有的人都站起身一起为他们加油呐喊。9秒69！一个新的男子百米世界纪录诞生啦！这是牙买加运动员博尔特在北京奥运会上创造的。



图2-1-1

阿牛：“比赛太精彩了！”阿牛在归途中似乎还沉浸在刚才那个激动人心的时刻。

机灵鬼：“你说说看，百米运动员在比赛时，是如何运动的？”

阿牛：“当然是加速运动喽。”

小芳：“那加速度又是怎样的情况？”

阿牛摸着下巴沉思良久，最后不得不用求助的眼神看着艾爷爷。

艾爷爷：“两个月前，某体育学校的教练为了帮助运动员提高比赛成绩，请我去为他们的运动员采集一些训练数据。于是我带着测试仪器为该校田径队的几名百米短跑运动员做了一回测试。那些测试数据现在还在我的办公室里，你们想看一看吗？”

阿牛：“那还等什么，Go！Go！Go！”

小芳：“夜猫子，你也不看看现在几点了。”

阿牛低头看了一下表，吐了吐舌头。原来已经快午夜了。

学习篇

一、速度随时间变化的图像

第二天一大早，孩子们来到艾爷爷的办公室。艾爷爷从书桌的抽屉里拿出一个文件袋，从中抽出一张测试报告。

艾爷爷：“一个运动员在跑百米时，我为他测出了速度随时间变化的情况。”

孩子们拿起这幅图（图2-1-2）仔细地研究起来。机灵鬼首先发言了。

会说话

请根据这幅图，分析运动员的跑步过程有何特点

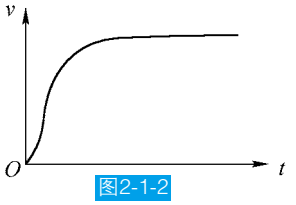


图2-1-2

阿牛：“大家说得对，这是一个比较复杂的加速运动过程。运动员在不同阶段的加速度是时刻改变的。”

小芳：“在初中物理课上，我们学习过对匀速直线运动的描述方法，而像这样的变速运动又该怎样分析呢？”

艾爷爷：“不要心急，学习新知识，往往要先易后难。现在就让我们先来研究一种最简单的变速运动吧。”

小芳：“那什么是最简单的变速运动呢？”

艾爷爷笑而不答。

只见机灵鬼拿起桌子上的一张纸画了起来。

机灵鬼：“这就是最简单的变速运动”

会画图

请画出你认为最简单的变速运动的速度-时间图像

二、 匀变速直线运动

小芳：“艾爷爷，现实中真有这样的运动吗？”

艾爷爷：“那就让我们一起到旁边的实验室做一次实验吧。”

艾爷爷边说边将孩子们领进了摆满各种仪器的实验室。

1. 一个小车的运动

按照艾爷爷的要求，三个孩子将一个打点计时器固定在斜面上某处，使一小车拖着穿过打点计时器的纸带从斜面上由静止滑下，如图2-1-3所示。

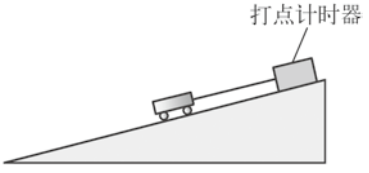


图2-1-3

图2-1-4是实验中打出的纸带的一段。打点计时器使用的交流电频率为50Hz，所以每两个点的时间间隔T= _____①。阿牛用刻度尺测量了计数点间的距离，并标注在纸带下方。

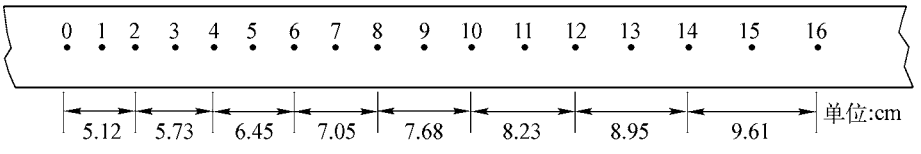


图2-1-4

机灵鬼和小芳一起设计了表2-1-1，开始运用上一章学习的估算瞬时速度的方法，计算表中列出的相关数据。你也来试试吧！（这里估算瞬时速度的方法与前一章略有不同。这样做的依据请参阅本章第二节）

表2-1-1　实验数据记录表　　T=0.028s

各段距离s（cm）	$s_{0\sim2}$	$s_{2\sim4}$	$s_{4\sim6}$	$s_{6\sim8}$	$s_{8\sim10}$	$s_{10\sim12}$	$s_{12\sim14}$	$s_{14\sim16}$
	5.12	5.73	6.45	7.05	7.68	8.23	8.95	9.61
各点速度 $v=\frac{s}{2T}$（m·s^{-1}）	v_1	v_3	v_5	v_7	v_9	v_{11}	v_{13}	v_{15}
	1.28	1.43	1.61	1.76				
各点速度对应时刻t（s）	T_1	T_3	T_5	T_7	T_9	T_{11}	T_{13}	T_{15}
	0.02	0.06	0.10	0.14				

艾爷爷：“我们来画出小车的速度随时间变化图像吧。”艾爷爷看了看孩子们填写的数据。

孩子们拿起艾爷爷发的坐标纸（图2-1-5）画起来。

机灵鬼第一个画完了。

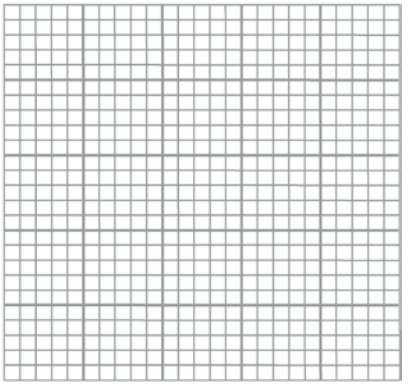


图2-1-5

机灵鬼：“这些数据点，基本上分布在一条直线上，或者离这条直线很近。”

艾爷爷：“是的，这说明从斜面上滑下的小车的运动有何特点呢？”

机灵鬼：“_____②”

艾爷爷：“这张图就很接近机灵鬼先前所认为的最简单的变速运动。”艾爷爷一边指着机灵鬼画好的小车的速度–时间图像（图2-1-7）一边说。

在物理学中，如果物体**做直线运动，并且加速度保持不变，这样的运动叫匀变速直线运动。匀变速直线运动的速度–时间图像是一条倾斜的直线。直线的斜率就是加速度。**　标签1

机灵鬼：“艾爷爷，博尔特的运动肯定不是匀变速直线运动，小车在运动过程中加速度也不是严格不变的，那么现实世界中到底有没有真真正正的匀变速直线运动呢？”　标签2

艾爷爷：“无论是匀速直线运动，还是匀变速直线运动都是**理想化的物理模型**。其实这些运动在现实世界中都是不存在的。但是，如果一个物体在一段时间内或者一段位移中，加速度变化很小，且速度方向基本不变，这样的运动就可以近似地视为匀变速直线运动。”　标签3

2. 匀加速直线运动与匀减速直线运动的判断



艾爷爷让三个孩子把“匀变速直线运动”分成三个词：运动、直线和匀变速，让每个人解释一个词。　标签4

阿牛：“‘运动’就是空间位置的改变。”

小芳：“‘直线’就是物体运动时不转弯。”

机灵鬼：“‘匀变速’说的是加速度的大小、方向都恒定。”

艾爷爷：“凡做直线运动的物体，加速度都与初速度在同一条直线上。初速度方向与加速度方向相同，物体的速度随时间均匀增加，这样的运动叫匀加速直线运动。若初速度方向与加速度方向相反，物体的速度随时间均匀减小，这样的运动叫匀减速直线运动。”　标签6

仿真实验操作提示	（1）请将随书附送的多媒体光盘放入电脑中，在“第二章”文件夹中找到“研究匀变速直线运动”文件，双击打开 （2）请首先阅读操作提示，点击“实验开始”按钮▶， 开始实验

我的训练营

1．关于匀变速直线运动，下面说法正确的是（　　）

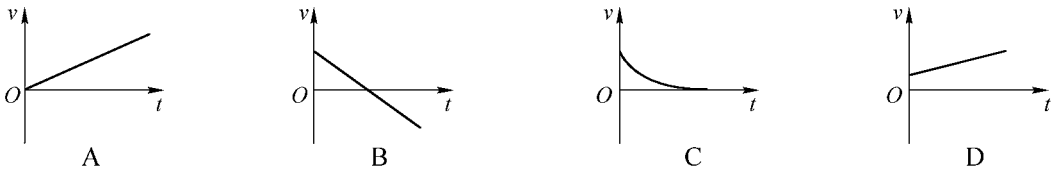
A．速度与时间成正比

B．加速度与时间成正比

C．速度的变化与时间成正比

D．任意相等时间内速度的变化量相同

2．下列描述直线运动的图像中，属于匀变速直线运动的是（　　）



A　　B　　C　　D

3．图2-1-6是小芳测量的艾爷爷晨练散步时的位置随时间变化的图像。请分析艾爷爷做何运动？在图中画出拟合线并求出艾爷爷散步时的速度。（提示：注意坐标轴的符号！）

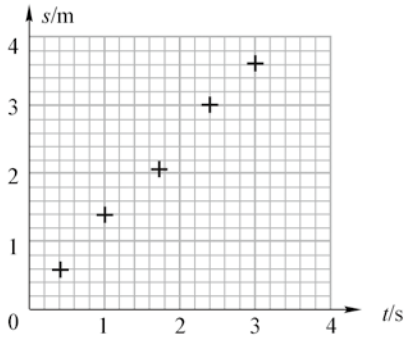


图2-1-6

我的整理箱

知识的梳理

★

★

方法的形成

★

★

★

结构图

知识体系　判断匀变速直线运动的思维操作流程　思维操作

指导篇

一、参考答案

行文补丁

①0.02s　　②小车在运动过程中，速度不断增大，加速度基本不变

会说话

运动员在起跑阶段速度增大，加速度逐渐增大，之后加速度逐渐减小，冲刺阶段速度达到最大，接近匀速直线运动。

会画图

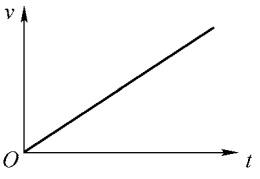
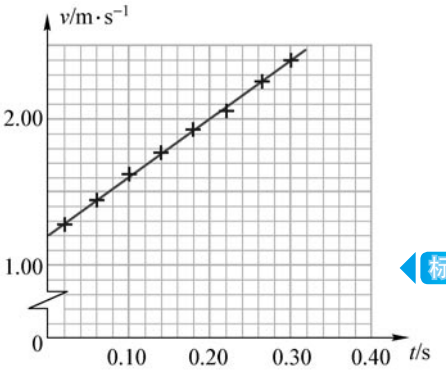


表2-1-2　实验数据记录表（部分）

$s_{8\sim10}$	$s_{10\sim12}$	$s_{12\sim14}$	$s_{14\sim16}$
7.68	8.23	8.95	9.61
v_9	v_{11}	v_{13}	v_{15}
1.92	2.06	2.24	2.40
T_9	T_{11}	T_{13}	T_{15}
0.18	0.22	0.26	0.30

注：此表为表2-1-1的结果



标签5

图2-1-7　（此图为图2-1-5的结果）

训练营答案

1．CD

2．ABD

3．匀速运动。拟合曲线图如图2-1-8所示，速度为1.2m/s

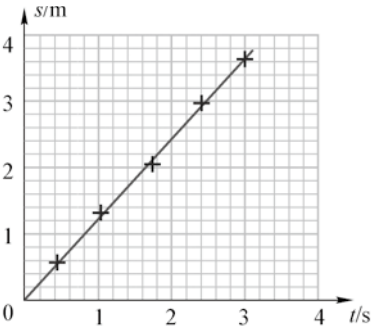


图2-1-8

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 匀变速直线运动

★ 匀变速直线运动的速度—时间图像

标签1 标签2

方法的形成

★ 抽象理想化模型

★ 匀变速直线运动的判断

★ 图线的拟合

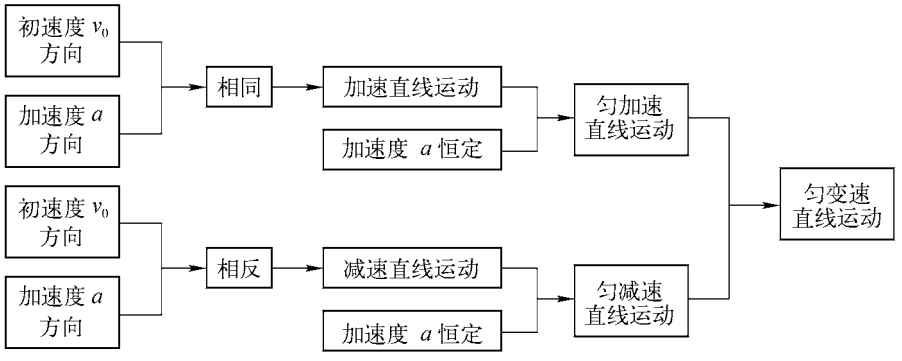
标签3 标签4 标签5

结构图

知识体系

思维操作

判断匀变速直线运动的思维操作 标签6



三、点拨与提高

1. 数据图像

在学习篇中，我们通过绘制速度-时间图像，形象快捷地找到了速度随时间变化的规律，这是数据表格难以做到的。在科学研究中，如果我们要寻找一个量随另一个量的变化规律，绘制数据图像是一种常用的分析手段。



在科学实验中，被研究者主动改变或操纵的因素叫做**自变量**。随着自变量的变化而发生相应改变的因素叫做**因变量**。我们在研究小车运动时，打点计时器每间隔0.02s记录一次小车的位置。也就是说小车的位置、位移或速度等因素是随着记录时间的变化而不断改变的。所以时间就是自变量，而随着时间不断变化的速度就是因变量。

绘制数据图像是一种分析数据的有效方法，它可以直观地显示因变量如何随自变量的变化而变化。我们用直角坐标系来表达这种关系。通常习惯上以横轴表示自变量，以纵轴表示因变量。

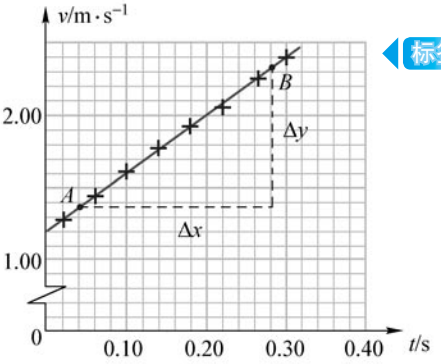


图2-1-9

标签5

2. 图线的拟合

在图2-1-9中，我们根据实验数据描绘出8个散开的点，再画出这条彩色线，使尽可能多的点分布在这条线上，不在线上的点均匀分布在线的两侧且使这条线尽可能接近这些点。这条线就叫做**拟合线**或趋势线。在这个例子中的拟合线是一条直线。表明因变量随自变量均匀变化，这种关系叫做**线性关系**，它的数学表达式为一次函数：

$$y = kx + b$$

画出拟合线后，我们可以从图像中方便地求出它的斜率k和截距b。

在拟合线上选取相距较远的两个点 A 和 B，读出它们的坐标 A（0.042，1.38）、B（0.283，2.33），代入下式可计算斜率：

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \frac{2.33 - 1.38}{0.283 - 0.042} = 3.94\text{m/s}^2$$

我们将拟合线延长与y轴相交，交点的y轴坐标就是截距。b就是x=0时y的值。从图中可知b=1.18m/s。拟合出直线方程为y=3.94x+1.18。

图2-1-9中，图线的斜率代表物体运动的加速度，截距表示零时刻的速度。

有时实验数据的分布明显不在一条直线上，这表明因变量随自变量的变化是非线性的。**非线性关系**有很多种。在高中物理中，常见的非线性关系有两种：二次函数关系和反比例函数关系，即 $y = ax^2 + bx + c$和$y = \frac{k}{x}$。这些关系我们会在以后的学习中遇到。

在科学研究中，我们可以利用拟合线进行合理的**外推和预测**。比如截距的得出，就是外推到t=0的结果。我们还可以根据图线方程 $y = 3.94x + 1.18$，在可能的时间取值区间内预测0.40s时物体的速度。

第二节　匀变速直线运动的规律

体验篇

星期天，艾爷爷邀请三个孩子一起去看冰壶比赛。

小芳：“艾爷爷，冰壶在冰上的运动近似是个匀变速直线运动吧？”

阿牛：“快看，运动员们真的很厉害，他们控制冰壶滑行距离的技术简直棒极了！

机灵鬼：“我觉得关键是要控制好冰壶出手时的速度。”

阿牛：“那滑行距离和出手速度之间是何关系呢？”（图2-2-1）



中国冰壶队在2009年世界女子冰壶锦标赛上获得冠军

图2-2-1

http://www.thefirst.cn/92/2009-03-25/356302.ht

三个孩子不约而同地瞧着艾爷爷。

艾爷爷：“嘘，认真看比赛。现在，冰壶比物理更重要。”

……

回到家中，艾爷爷拿出上次孩子们做实验时画的小车速度随时间变化的图像说：“就让我们从这张图像和已有的物理规律开始吧。”

学习篇

一、速度与时间的关系

1. 由v–t图像推导

标签3

根据匀变速直线运动v–t图像（图2-2-2），速度与时间是一次函数关系，其表达式为$y=kx+b$，由图像的物理意义可知，斜率表示加速度a，截距为初速度v_0。所以

$$v_t=v_0+at$$

这个数学表达式反映了速度随时间变化的关系，是匀变速直线运动的**速度公式**。

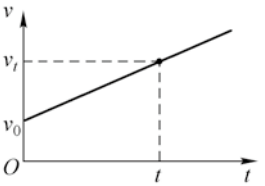


图2-2-2

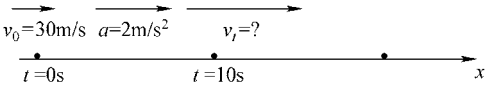
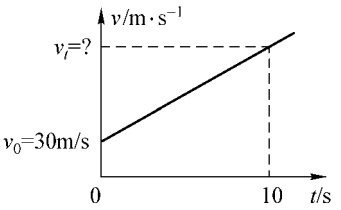
2. 由加速度定义推导

也可根据加速度的定义式$a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=\dfrac{v_t-v_0}{t}$，变形得到$v_t=v_0+at$。

速度公式是矢量式，v_t、v_0、a都是矢量。使用时，一般规定初速度的方向为正方向。质点加速运动，v_0、a同向，a取正；质点减速运动，v_0、a反向，a取负。

【例题1】

航空母舰上的飞机弹射系统可以缩短战机起跑线的位移。假设弹射系统对战机作用了0.1s时间后，可以使战机达到一定的初速度30m/s，然后战机在甲板上起跑，加速度为2m/s^2，经过10s，达到起飞的速度是多少？

思维操作	解答过程	
研究对象	战机简化为质点	
情境图		
物理模型	v_0=30m/s与 a=2m/s^2同方向，飞机做匀加速直线运动	
适用规律	公式	图像
	匀变速直线运动速度公式 $v_t=v_0+at$	
特定条件	从战机脱离弹射系统开始计时	
决策	匀变速直线运动速度公式	
运算过程	规定初速度为正，战机做加速运动，加速度为正 由$v_t=v_0+at$，得v_t=30+2 × 10=50m/s	
分析结果	注意：舰载飞机起飞做加速运动，分成两个阶段：弹射阶段和飞机自行匀加速直线运动阶段	
会操作	记住解题的这八个规范操作步骤，确信你能独立重复	

【反馈1】

足球运动员以10m/s的速度将足球踢出，足球沿草地做直线运动，速度不断减小，设加速度大小恒为2m/s^2，3s后足球运动到后卫队员处，后卫队员接到球时，足球的速度为多少？

思维操作	解答过程
研究对象	

续表

情境图		
物理模型		
适用规律	公式	图像
特定条件		
决策		
运算过程		
分析结果		

二、位移与时间的关系

小芳：“我知道匀速直线运动的v–t图像所包围的面积表示位移，那匀变速直线运动的位移是不是也可以这样计算呢？”

艾爷爷：“你猜得对，不过要运用一点微积分知识证明它的正确性。”

标签3



将匀变速直线运动v–t图像中的时间等分成许多小的时间段，在每段时间内，物体运动看成以某一速度做匀速运动。那么，每一小段所对应的位移大小等于该段对应的矩形面积，如图2-2-3所示。当时间段划分足够小时，设想的运动就越接近真实的匀变速直线运动，如图2-2-4所示。如果无限分割成无数多个矩形面积然后再求面积之和便等于梯形面积，如图2-2-5所示。该梯形面积在数值上便等于匀变速直线运动的位移。

标签4



小贴士

无限分割线段，逐渐逼近真实状况，然后求和，就是微积分的思想。这是牛顿、莱布尼兹等人率先使用的方法

这种思想在物理学研究中常常用到。

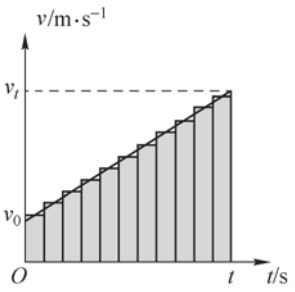


图2-2-3

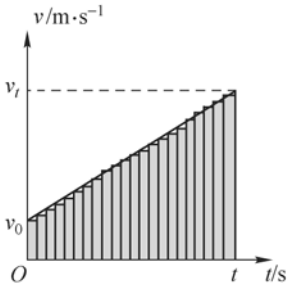


图2-2-4

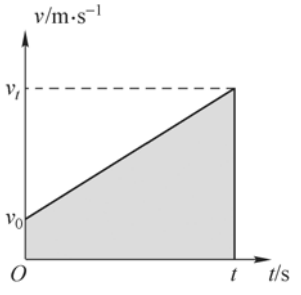


图2-2-5

根据梯形面积公式和加速度定义式，可得匀变速直线运动的**位移公式**

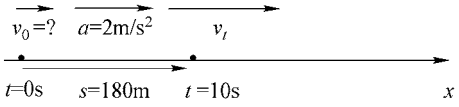
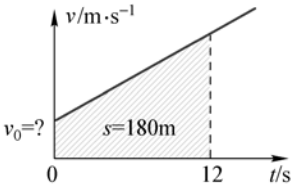
$$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

位移公式也是矢量式，s、v_0、a都是矢量。应用位移公式时，取计时时刻所在点为起始位置，一般规定初速度的方向为正方向，质点加速运动，v_0，a同向，a取正值；质点减速运动，v_0，a反向，a取负值。

v–t图像与时间轴所包围的面积在时间轴的上面，表示位移为正；反之，表示位移为负。

【例题2】

一辆汽车匀速行驶，然后以1m/s^2的加速度加速行驶，经12s行驶了180m，问汽车开始加速时的速度是多大?

思维过程	解答过程	
研究对象	汽车简化成质点	
情境图		
物理模型	匀加速直线运动	
适用规律	公式	图像
	位移公式 $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ 速度公式v_t=v_0+at	
特定条件	已知s、a、t	
决策	选用匀变速直线运动位移公式	

续表

运算过程	规定初速度为正，汽车做加速运动，a为正 由 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 变形， 得$v_0=\frac{2s-at^2}{2t}=\frac{2\times180-1\times12^2}{2\times12}=9\text{m/s}$	会操作 先列公式再进行字母运算，得到所求物理量的表达式，然后才代入数据计算。这和初中的要求不一样
分析结果	单位是否正确？单位为m/s。数值是否正确	
会操作	记住解题的这八个规范操作步骤！ 确信你能独立重复	

【反馈2】		
一辆汽车以10m/s的速度匀速前进，制动时的加速度为2.5 m/s^2，求3s末和6s末的位移		
思维操作		
研究对象		
情境图		
物理模型		
适用规律	公式	图像
特定条件		
决策		

续表

运算过程	
分析结果	

三、匀变速直线运动的几个重要推论



接下来，艾爷爷又在纸上写下了一堆眼花缭乱的公式。

艾爷爷：“这些规律也很重要，掌握了它们才能灵活快捷地求解匀变速直线运动。”

机灵鬼：“匀变速直线运动的公式也太多啦！。高中物理太难学啦！”机灵鬼扫了一眼，拉着艾爷爷抱怨。

艾爷爷：“小芳你是怎样记忆公式的？”

小芳：“硬背！还有更好的方法吗？”

艾爷爷：“请大家拿出纸和笔跟着我，一边画图，一边记忆。”



小贴士

几何图形直观，而代数方程抽象，能不能用几何图形来表示方程？要想达到此目的，关键是如何把组成几何图形的点和方程的每一组“数”挂上钩。首先完成这个工作的是笛卡尔。

我们先将这些公式列个表2-2-1，然后画一个匀加速直线运动的v–t图像，如图2-2-6所示。看看图像中各个要素与公式之间的关系，填写在表格中。

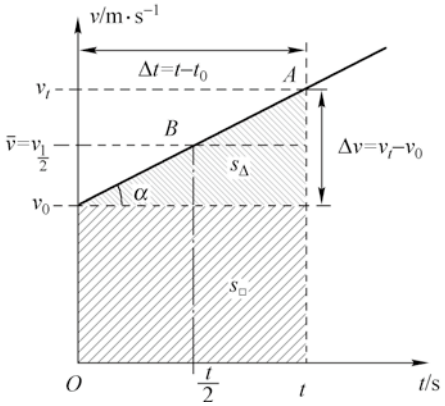


图2-2-5

表2-2-1　匀变速直线运动常用公式表

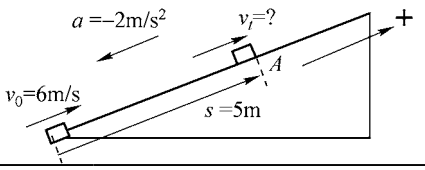
标签1

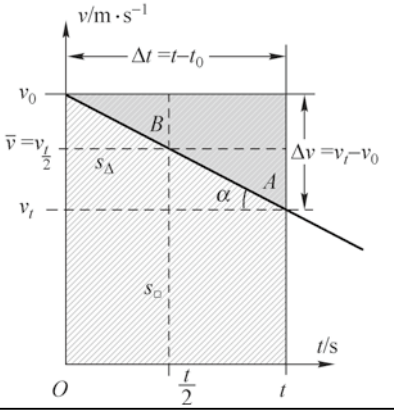
名称	公式	图像的物理意义
点	状态v_i	横、纵坐标的交点（几何点）表示物体运动某时刻的状态参量v_i
加速度公式	$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_t-v_0}{t-t_0}$	斜率表示加速度$a=\tan\alpha=\frac{\Delta v}{\Delta t}$
速度公式	$v_t=v_0+at$	数学上的直线方程$y=b+kx$即为匀变速直线运动的速度变化规律，演化成$x\to t$，$y\to v_t$，$k\to a$，$b\to v_0$
位移公式	$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$	v–t图线与横轴投影围成的面积表示位移。$s=s_\Delta+s_\square$。$s_\Delta=\frac{1}{2}\Delta v\cdot\Delta t=\frac{1}{2}(\tan\alpha\cdot\Delta t)\Delta t=\frac{1}{2}a\cdot(\Delta t)^2=\frac{1}{2}at^2$；$s_\square=v_0\cdot\Delta t=v_0t$
平均速度公式	$\overline{v}=\frac{s}{t}=\frac{v_0+v_t}{2}$	在v–t图上做出过$t/2$点的时间轴的垂线与速度图线交于B点。再过B点作速度轴的垂线交于时间轴。该点就是$v_{\frac{t}{2}}$。由几何关系看出$v_{\frac{t}{2}}=\overline{v}=\frac{s}{t}=\frac{v_0+v_t}{2}$
中间时刻速度公式	$v_{\frac{t}{2}}=\frac{v_0+v_t}{2}$	
位移速度公式	$v_t^2-v_0^2=2as$	将速度公式$v_t=v_0+at$与位移公式$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$联立消去t，得到$v_t^2-v_0^2=2as$

阿牛：“哦，我现在明白了。冰壶做匀减速直线运动，末速度为零，加速度一定。所以由位移速度公式可知初速度决定了冰壶的滑行距离。”

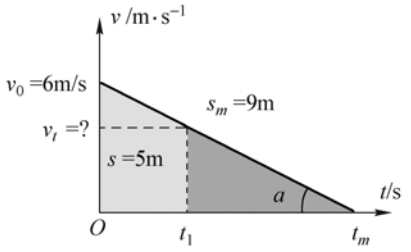
【例题3】

一物体以6m/s的初速度在斜面上向上做加速度大小为2m/s^2的匀减速运动，则物体第一次到达距离出发点5m的A点时，速度为多少？

思维操作	解答过程
研究对象	物体，看成质点
情境图	
物理模型	匀减速直线运动
适用规律	$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_t-v_0}{t-t_0}$ ① $v_t=v_0+at$ ② $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ ③ $v_{\frac{t}{2}}=\overline{v}=\frac{s}{t}=\frac{(v_0+v_t)}{2}$ ④ $v_t^2-v_0^2=2as$ ⑤



续表

特定条件	第一次到达A点，其位移沿斜面向上	
决策	已知条件：s、v_0、a，求v_t，用⑤比较方便	
运算过程	解：规定初速度为正，物体做减速运动，$a=-2\text{m/s}^2$。位移$s=5\text{m}$ 由 $v_t^2-v_0^2=2as$， $v_t=\pm\sqrt{v_0^2+2as}$ $=\pm\sqrt{6^2+2\times(-2)\times5}$ $=\pm4\text{m/s}$	
分析结果	结果中出现±4m/s，也就是说速度方向可能是沿斜面向上也可能是沿斜面向下。设斜面足够长，当物体速度为零时其位移是s_m，根据公式⑤有 $0-v_0^2=2as_m$ $s_m=\dfrac{0-v_0^2}{2a}=\dfrac{0-6^2}{2\times(-2)}=9\text{m}>s=5\text{m}$ 所以，$v_t=4\text{m/s}$，速度方向沿斜面向上。由图象也可以看出$v_t>0$	

【反馈3】

一物体做匀加速直线运动，已知零时刻的速度为1m/s，第5s内的位移是10m，求它的加速度是多少？第5s初与第5秒末的瞬时速度各是多大？

思维操作	解答过程	
研究对象		
情境图		
物理模型		
适用规律	公式	图像
特定条件		
决策		

续表

运算过程	
分析结果	

我的训练营

1．做匀加速直线运动的物体，速度从v增加到$2v$时的位移是s，则它的速度从$2v$增加到$4v$经过的位移是_____。

2．一个滑雪的人，从85m长的山坡上匀变速滑下，初速度是1.8m/s，末速度是5.0m/s，他通过这段山坡需要的时间为_____。

3．飞机着陆后以6m/s^2加速度做匀减速直线运动，若其着陆速度为60m/s，求：

（1）着陆后4s内飞机滑行的距离。

（2）它着陆后12s内滑行的距离。

4．证明下面的问题：

物体做初速度为零的匀加速直线运动，如果将其运动时间分为n个相等的时间段，用s_n表示前n个时间段内物体发生的位移；用$s_{第n}$表示第n个时间段内物体发生的位移，那么有：

（1）s_1：s_2：…：$s_n=1^2$：2^2：…：n^2

（2）$s_{第1}$：$s_{第2}$：…：$s_{第n}=1$：3：…：（$2n-1$）

（3）$\Delta s=aT^2$（两个相邻的时间段内的位移差为aT^2）

（4）$s_{第n}-s_{第m}=(n-m)\,aT^2$

我的整理箱

知识的梳理

★

★

方法的形成

★

★

结构图

知识体系　　思维操作

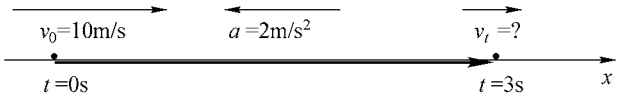
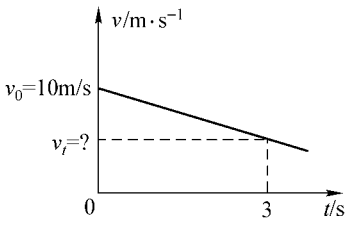
运用匀变速直线运动规律解题的思维操作

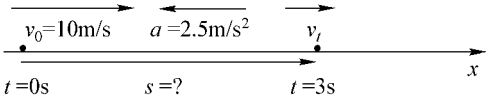
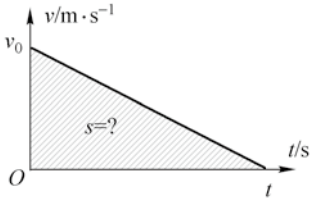
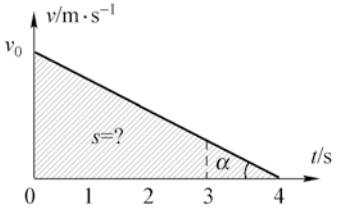
指导篇

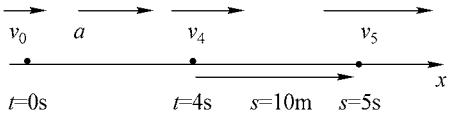
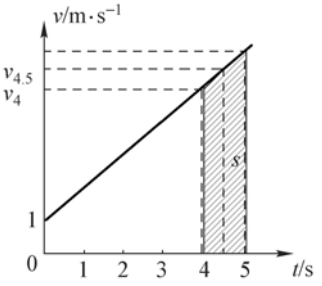
一、参考答案

反馈题答案

【反馈1】

思维操作	解答过程	
研究对象	足球简化成质点	
情境图		
物理模型	匀减速直线运动	
适用规律	公式	图像
	匀变速直线运动的速度公式：$v_t=v_0+at$	
特定条件	时间间隔3s，初速度大小为0m/s，加速度大小为2m/s^2	
决策	匀变速直线运动速度公式	
运算过程	规定初速度为正，质点做匀减速直线运动，a=−2m/s^2 由$v_t=v_0+at$可得 $v_t=10+(-2)\times 3=4$m/s	
分析结果	速度方向是否正确？由图像可知结果为正，与规定的正方向相同。单位是否正确？单位为m/s。数值是否正确？ 质点做减速运动，速度减小	

<table>
<tr><th colspan="3">【反馈2】</th></tr>
<tr><td>思维操作</td><td colspan="2">解答过程</td></tr>
<tr><td>研究对象</td><td colspan="2">汽车简化为质点</td></tr>
<tr><td>情境图</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>物理模型</td><td colspan="2">匀减速直线运动</td></tr>
<tr><td rowspan="2">适用规律</td><td>公式</td><td>图像</td></tr>
<tr><td>匀变速直线运动的位移公式：
$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ ①
匀变速直线运动的速度公式：
$v_t=v_0+at$ ②</td><td>
</td></tr>
<tr><td>特定条件</td><td colspan="2">起始时刻应该从制动时刻算起，刹车后不再有动力，是一个匀减速直线运动的过程</td></tr>
<tr><td>决策</td><td colspan="2">已知：v_0、a、t，求s。可从匀变速直线运动的规律中选用①$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$</td></tr>
<tr><td>运算过程</td><td colspan="2">规定初速度方向为正，加速度a=−2.5m/s^2，由 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$
$s_3=10\times3+\frac{1}{2}\times(-2.5)\times3^2=18.75$m
$s_6=10\times6-\frac{1}{2}\times(-2.5)\times6^2=15$m
$s_3>s_6$，结果与实际情况不符</td></tr>
<tr><td>分析结果</td><td colspan="2">选用规律②$v_t=v_0+at$ 验证一下汽车何时停下来：
$t=\frac{-v_0}{a}=\frac{-10}{-2.5}=4\text{s}<6\text{s}$。说明汽车早在 4s时刻就已经停下来。重新选取与$t$无关的公式可得到
$s_6=s_4=10\times4\times\frac{1}{2}\times(-2.5)\times4^2=20$m
用图像作图同样也能说明问题，还能很快算出：
$s_6=s_4=\overline{v}t=\frac{v_0}{2}t_4=20$m

</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="3">【反馈3】</th></tr>
<tr><td>思维操作</td><td colspan="2">解答过程</td></tr>
<tr><td>研究对象</td><td colspan="2">物体简化为质点</td></tr>
<tr><td>情境图</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>物理模型</td><td colspan="2">匀加速直线运动</td></tr>
<tr><td rowspan="2">适用规律</td><td>公式</td><td>图像</td></tr>
<tr><td>$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_t-v_0}{t-t_0}$ ①
$v_t=v_0+at$ ②
$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ ③
$v_{\frac{t}{2}}=\overline{v}=\frac{s}{t}=\frac{(v_0+v_t)}{2}$ ④
$v_t^2-v_0^2=2as$ ⑤</td><td>
</td></tr>
<tr><td>特定条件</td><td colspan="2">第5s内的位移就是第4s末到第5s末的位移，时间为1s</td></tr>
<tr><td>决策</td><td colspan="2">已知条件里有s、v_0、t，求a、v_4、v_5，用②④比较方便</td></tr>
<tr><td>运算过程</td><td colspan="2">规定初速度为正，物体做匀加速直线运动，由
$v=v_{\frac{t}{2}}=\frac{s}{t}=\frac{(v_0+v_t)}{2}$ 所以，$v_{4.5}=\frac{s}{t_1}=\frac{10}{1}=10\text{m/s}$
$a=\frac{v_{4.5}-v_0}{t_{4.5}}=\frac{10-1}{4.5}=2\text{m/s}^2$
$v_4=v_0+at_4=1+2\times4=9\text{m/s}$，　$v_5=v_0+at_5=1+2\times5=11\text{m/s}$</td></tr>
<tr><td>分析结果</td><td colspan="2">单位是否正确？单位为m/s。数值是否正确？物体做加速运动，速度随时间增大</td></tr>
</table>

训练营答案

1. 4s　2. 25s　3. 192m，300m　4. 略

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 匀变速直线运动的规律　标签1

★ 匀变速直线运动的位置–时间图像　标签2

方法的形成

★ 数形结合、数理结合的思想方法　标签3

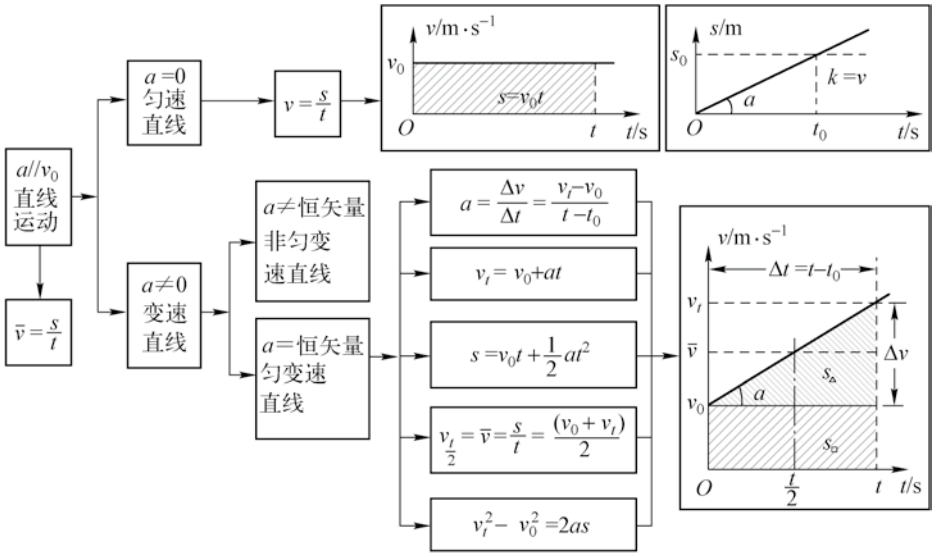
★ 微积分思想　标签4

结构图

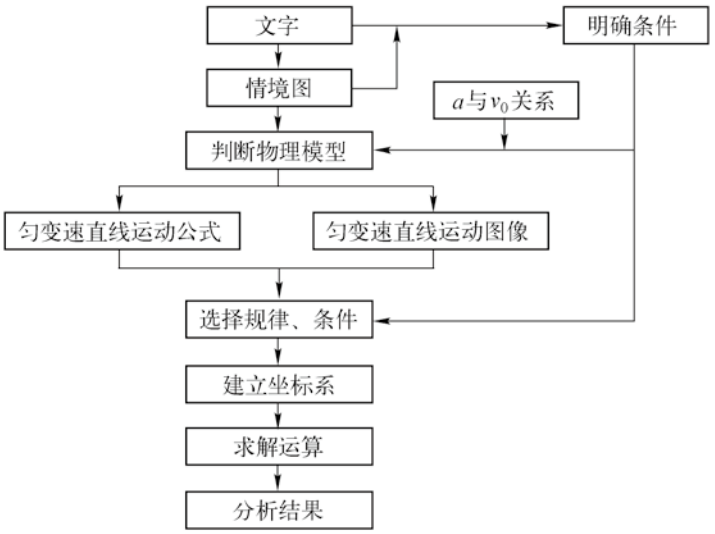
知识体系

直线运动知识结构图

思维操作



运用匀变速直线运动规律解题的思维操作



三、点拨与提高

1. 匀变速直线运动的位置－时间图像

标签2



根据匀变速直线运动的位移公式 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ ，位置-时间图像是二次函数曲线，也叫做抛物线。如果物体做匀减速直线运动，规定初速度方向为正，则加速度为负，这个图像是开口向下的，如图2-2-7所示。如果物体做匀加速直

线运动，加速度为正，这个图像是开口向上的，如图2-2-8所示。在图线上任意两点连线的斜率反映这段时间的平均速度，如果这段时间足够短，这条线就趋近于某点的切线。所以位置–时间图线上某点切线的斜率反映的是该点对应时刻的瞬时速度。

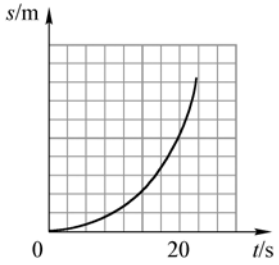


图2-2-7

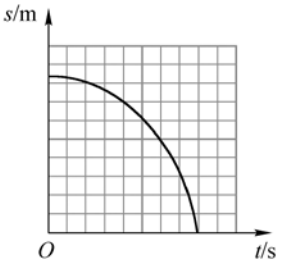


图2-2-8

仿真实验操作提示	（1）请将随书附送的多媒体光盘放入电脑中，在“第二章”文件夹中找到“研究匀变速直线运动”文件，双击打开 （2）请设置小球初速度和加速度。点击“实验开始”按钮，开始实验。注意观察小球位置–时间图像

2. 笛卡尔与坐标系

据说有一天，法国哲学家、数学家笛卡尔（图2-2-9）生病卧床，病情很重，尽管如此，他还在反复思考一个问题：几何图形是直观的，而代数方程是比较抽象的，能不能把几何图形与代数方程结合起来，也就是说能不能用几何图形来表示方程呢？要想达到此目的，关键是如何把组成几何图形的点和满足方程的每一组“数”挂上钩。他苦苦思索，拼命琢磨，通过什么样的方法，才能把“点”和“数”联系起来。突然，他看见屋顶角上的一只蜘蛛（图2-2-10），拉着丝垂了下来，一会工夫，蜘蛛又顺着丝爬上去，在上边左右拉丝。蜘蛛的“表演”使笛卡尔的思路豁然开朗。他想，可以把蜘蛛看做一个点，它在屋子里可以上、下、左、右运动，能不能把蜘蛛的每个位置用一组数确定下来呢？他又想，屋子里相邻的两面墙与地面交出了三条线，如果把地面上的墙角作为起点，把交出来的三条线作为三根数轴，那么空间中任意一点的位置就可以在这三根数轴上找到有顺序的三个数。反过来，任意给一组三个有顺序的数也可以在空间中找出一点P与之对应。同样道理，用一组数（x、y）可以表示平面上的一个点，平面上的一个点也可以用一组两个有顺序的数来表示，这就是坐标系的雏形。

标签1

标签3


图2-2-9

勒奈·笛卡尔
1596—1650


图2-2-10

图片http://www.tplm123.com/

文字来源http://baike.baidu.com/view/968758.htm

第三节　测量匀变速直线运动的加速度

学习篇

实验目的

利用打点计时器测量小车做匀变速直线运动的加速度。

实验原理

会实验

1. 利用定义式求瞬时速度和加速度

如果物体做匀变速直线运动，我们就可以利用描述匀变速直线运动的规律测量物体的瞬时速度和加速度。

标签4

（1）测量瞬时速度

如图2-3-1所示，我们可以用刻度尺测量出O、B两点间的距离，利用中间时刻瞬时速度公式$v_{\frac{t}{2}}=\overline{v}=\frac{s}{t}=\frac{v_0+v_t}{2}$，可求出打点计时器打出$A$点时小车的瞬时速度$v_A=\overline{v_{OB}}=\frac{\overline{OB}}{2T}$。

同理我们也可用这种方法测量出C、D、E点对应的瞬时速度。在求出A、E点的瞬时速度及小车加速度之后，还可以用速度公式计算出O、F两点的瞬时速度。

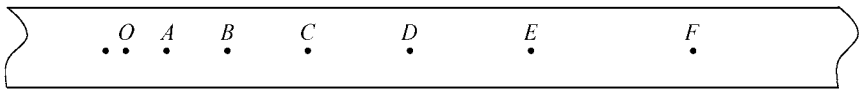


图2-3-1

（2）测量加速度

标签5

在运用上述方法求出各点对应的瞬时速度后，我们可以在坐标纸上描点做出速度的拟合线，利用加速度的定义式$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}$，求出拟合线的斜率，得到小车的加速度。



小贴士

如果在纸带上任取两点分别求出对应的瞬时速度，再与这两点间的时间间隔一起代入加速度定义式，也可求出加速度。但由于这样做只用到两个点的数据，所以，随机误差较大，不建议采用这种方法。

2. 利用位移之差求加速度

观察用打点计时器打出的纸带，根据纸带上的点可以分析带动纸带的物体的运动情况。如果纸带上相邻计数点是均匀等间距的（误差小于0.5mm），则可以认为物体做匀速直线运动。

标签3

那么如何通过纸带上的点判断物体是否做匀变速直线运动呢？让我们先来推导一个重要关系。

如图2-3-2所示，一个做匀变速直线运动的物体在连续两个相等时间T内通过的位移分别为s_1和s_2。由匀变速直线运动的位移公式可知

$$s_1=v_AT+\frac{1}{2}aT^2 \qquad ①$$

$$s_2=v_BT+\frac{1}{2}aT^2 \qquad ②$$

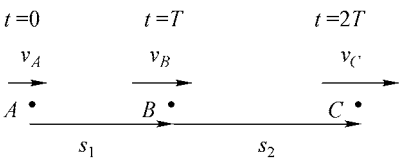


图2-3-2

v_A、v_B是物体经过A、B两点时的瞬时速度。根据匀变速直线运动的速度公式，有

$v_B - v_A = aT$　　③

将②式与①式相减，代入③式，

得 $\Delta s = s_2 - s_1 = aT^2$ 。

对于这一结果，我们也可结合图像导出。如图2-3-3所示，将匀变速直线运动的v–t图像以等时间间隔T分隔，并作图中的各条虚线。由几何关系可以发现，相邻相等时间内的位移之差是相等的，它在数值上等于彩色矩形的面积Δs。由几何关系可知

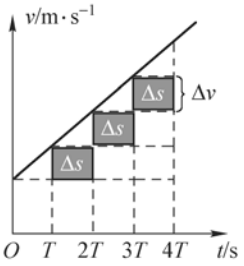


图2-3-3

$$\Delta s = \Delta v T = aT^2$$

从以上推导过程我们发现：**做匀变速直线运动的物体，在任意相邻相等时间内通过的位移之差是一个恒量**。可以用**位移差公式**来表示 $\Delta s = s_{n+1} - s_n = aT^2$ 。

标签1

我们可以将这一规律作为判断物体是否做匀变速直线运动的依据。

我们可以利用位移差公式求小车的加速度。为了减小长度测量时的误差，我们可以用刻度尺测出O、C两点的距离s_{OC}和O、F两点的距离s_{OF}，将两段距离相减求出C、F两点的距离s_{CF}，再利用位移差公式求出加速度 $a = \dfrac{\Delta s}{(3T)^2} = \dfrac{s_{CF} - s_{OC}}{(3T)^2}$ 。式中T为打点计时器的打点时间间隔。此时应注意每段距离所对应的时间间隔为$3T$。

总之，实验方案的设计、实验装置的选择、测量方法的采用、操作步骤的制定以及实验数据的处理都应围绕实验原理这一核心问题展开。实验原理本质上就是物理规律在实验中的具体体现。我们进行实验测量的过程，就是通过在物理规律中建立的各个物理量之间的关系而实现的，实验原理是掌握一个实验的关键。

实验仪器

根据实验目的和原理，本实验需要具备下列实验条件。

研究对象：小车。

实验环境：带定滑轮的长木板、电压为4～6V、频率为50Hz交流电源、钩码和夹子。

记录装置：打点计时器、纸带。

测量仪器：刻度尺。

实验装置

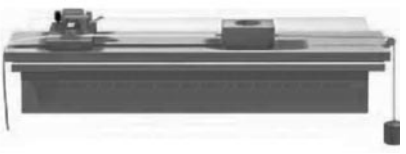
将打点计时器固定在长木板上，并接在交流电源上。小车前端与钩码相连，小车在钩码的带动下，在长木板上做匀加速直线运动。

实验步骤

（1）将实验仪器按照图2-3-4组装好。

（2）取约50cm长的纸带。纸带穿过限位孔，并从复写纸下面通过，固定在小车上。

（3）打开打点计时器，然后释放小车，打出一条纸带。


图2-3-4　（此图源于人教版教科书）

（4）检查纸带，确定纸带上有点迹清晰且没有中断。如果纸带有缺陷，再重打一条。

（5）舍去纸带上点迹较密的一段，选择较清晰的一点记为O，后面的各计数点分别记为A、B、C、D、E…

（6）根据纸带上的计数点，判断小车的运动情况。进而求出小车的加速度。

（7）整理实验仪器和器材。

数据记录

1. 计数点的选择

一般小车在开始阶段运动较慢，在纸带上打的点比较密集。为了减小测量误差，我们舍去开始一段密集的点（这样做的具体原因请参阅本节的“点拨与提高”）。然后以相等时间间隔标注出各计数点O、A、B、C、D、E、F。如图2-3-5所示，相邻两个计数点间的时间间隔为T=0.04s。

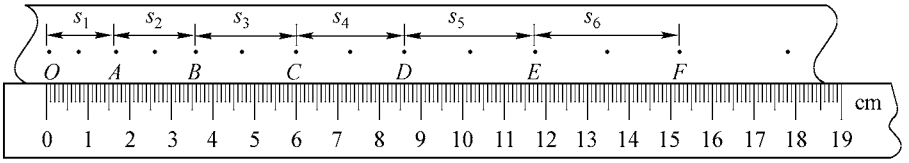


图2-3-5

2. 数据记录

读数并将直接测量的数据（各点位置坐标）和对应的时刻分别填入表2-3-1的第3列和第2列。读数时注意刻度尺的最小分度和结果的有效数字。

表2-3-1　实验数据记录表

计数点	时刻（s）	位置坐标（cm）	相邻计数点间距（cm）	位移差（cm）	速度（m/s）	加速度（m/s^2）
O	0.00	0.00	s_1=1.60	s_2-s_1=0.40		
A	0.04	1.60	s_2=1.95	s_3-s_2=	v_A=0.44	
B	0.08	3.55	s_3=	s_4-s_3=	v_B=	
C			s_4=	s_5-s_4=	v_C=	
D			s_5=	s_6-s_5=	v_D=	
E			s_6=		v_E=	
F						

数据处理

1. 定性判断小车的运动情况

如果纸带上的点距越来越大，则物体做加速运动。如果纸带上的点距越来越小，则物体做

减速运动。若纸带上相邻相等时间间隔的位移差 Δs 等于恒量（误差小于0.5mm），则可以认为物体做匀变速直线运动。

利用表2-3-1中的各点位置坐标，求出相邻计数点之间的距离，填入表格第4列。再根据这列数据计算各个相邻相等时间间隔的位移差，填入第5列。据此判断小车的运动情况。如果小车做匀变速直线运动，我们就可以进一步用前面提到的方法求小车的瞬时速度和加速度。

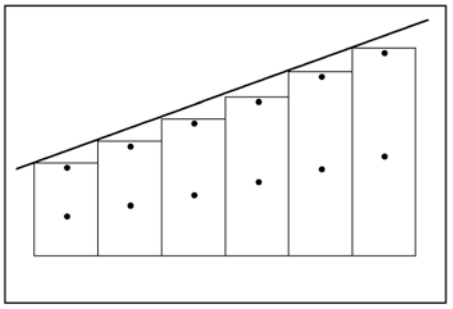


图2-3-6

上述计算过程稍显繁琐，有没有更加简便快捷的方法呢？你可以将图2-3-5中的纸带以相等时间间隔沿垂直纸带边缘方向逐一剪下，如图2-3-6所示。将剪下的各段纸带逐条竖向排列，并使底端对齐贴在一张白纸上。现在你能判断小车的运动情况了吗？

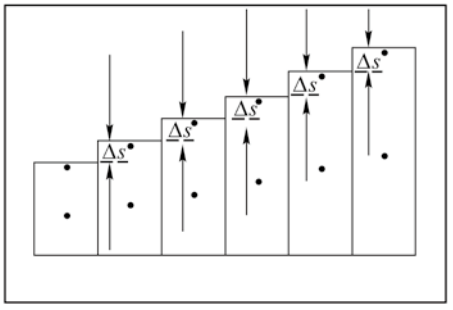


图2-3-7

判断方法一：各纸带左上角连线是一条直线，如图2-3-6所示。

判断方法二：每一段纸带都比前一段纸带长出一段相同的长度（Δs），如图2-3-7所示。

2. 利用图像（加速度定义式）求加速度

会实验

根据加速度定义式 $a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=\dfrac{v_2-v_1}{t_2-t_1}$。

运用求瞬时速度的方法计算出A、B、C、D、E各点的瞬时速度，填入表2-3-1的第6列。根据这些点对应的瞬时速度和表中第2列中的相应时刻在坐标纸（图2-3-8）上描点，做出小车运动的v–t图像，求出v–t图线的斜率。斜率就表示小车的平均加速度a，将求出的加速度填入表格中的最后一列。

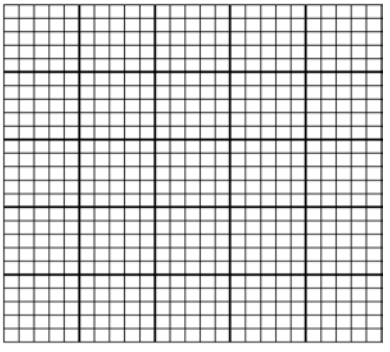


图2-3-8

会操作

请写出用于求解斜率的点坐标、斜率公式、数据代入过程和计算结果

3. 利用公式$\Delta s=aT^2$求加速度

将图2-3-5中各计数点间的6段距离以相等时间间隔分为两大段s_{OC}和s_{CF}，由位移差公式求出加速度。

会操作

请写出求解所用公式、数据代入过程和计算结果

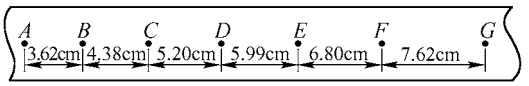
实验结论及误差分析

会说话

请写出这次实验的结论和误差分析

【反馈1】

某同学在“测匀变速直线运动的加速度”的实验中，用打点计时器记录了被小车拖动的纸带的运动情况，在纸带上确定出A、B、C、D、E、F、G共7个计数点，其相邻点间的距离如下图所示，每两个相邻的计数点之间的时间间隔为0.10s

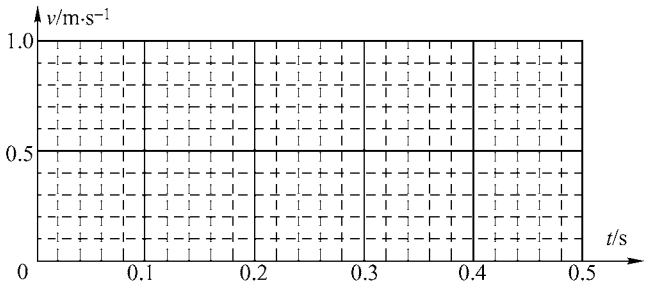


（1）试根据纸带上各个计数点间的距离，计算出打下B、C、D、E、F五个点时小车的瞬时速度，并将各个速度值填入下式（要求保留3位有效数字）。v_B=_____m/s，v_C=_____m/s，v_D=_____m/s，v_E=_____m/s，v_F=_____m/s

（2）将B、C、D、E、F各个时刻的瞬时速度标在坐标纸上，并画出小车的瞬时速度随时间变化的关系图线，并由图线求出加速度

思维过程	解答过程
数据采集	从纸带得到相邻计数点间的距离s_1=3.62cm，s_2=4.38cm，s_3=5.20cm，s_4=5.99cm，s_5=6.80cm，s_6=7.62cm；相邻计数点的时间间隔为0.10s

续表

<table>
<tr><td rowspan="4">数据处理1</td><td>计算各点速度</td><td>依据规律 $v_{\frac{t}{2}}=\overline{v}=\frac{s}{t}$ 可得各点瞬时速度
v_B=　　v_C=　　v_D=　　v_E=　　v_F=</td></tr>
<tr><td>建立坐标系</td><td rowspan="3">（1）描点（用“+”描点，最好用红色的笔），描点后大家会发现所有点近似在一条直线上
（2）拟合图线：让一条直线经过所描的这些点。如果不能在一条直线上，尽量让这些点均匀地分布在直线两侧，即直线两侧的点到直线的距离大致相等
（3）求直线斜率：选择直线上较远的两点A和B（用黑色“+”描点），根据A和B两点的坐标求出所画直线的斜率

</td></tr>
<tr><td>描点</td></tr>
<tr><td>拟合图线</td></tr>
<tr><td>数据处理2</td><td>公式法</td><td></td></tr>
<tr><td>误差分析</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>会操作</td><td colspan="2">根据实验数据绘制图像，由图线提供的各种信息求加速度</td></tr>
</table>

我的训练营

1．当纸带与运动物体连接时，打点计时器在纸带上打出点迹。下列关于纸带上的点迹的说法中，哪些是正确的(　　)

A．点迹记录了物体运动的时间

B．点迹记录了物体在不同时刻的位置和某段时间内的位移

C．点在纸带上的分布情况，反映了物体的质量和形状

D．纸带上点迹的分布情况，反映物体的运动情况

2．电磁打点计时器的电源应是_____电源，实验室使用我国民用电时，每隔_____秒打一次点，如果每打5个取一个计数点，即相邻两个计数点间的时间间隔为_____秒。

3．由打点计时器打出的纸带可以直接得到（可直接测量，不需经过计算）的物理量是（　　）

A．时间间隔　　B．位移　　C．加速度　　D．平均速度

4．利用打点计时器测定匀加速直线运动的小车的加速度。图2-3-9给出了该次实验中，从0点开始每5个点取一个计数点的纸带，其中0、1、2、3、4、5、6都为计数点。测得相邻计数点的距离依次为s_1=1.40cm，s_2=1.90cm，s_3=2.38cm，s_4=2.88cm，s_5=3.39cm，s_6=3.87cm。

（1）在计时器打出点1、2、3、4、5时，小车的速度分别为v_1=_____cm/s，v_2=_____cm/s，v_3=_____ cm/s，v_4=_____cm/s，v_5=_____cm/s。

（2）小车的加速度a=_____cm/s^2。

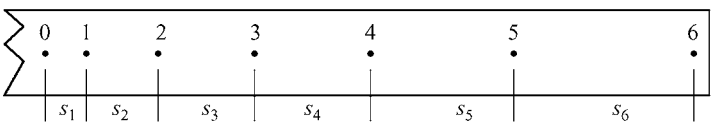


图2-3-9

我的整理箱

知识的梳理

★

★

方法的形成

★

★

★

★

结构图

知识体系　　思维操作

高中物理实验的操作流程

指导篇

一、参考答案

行文补丁

表2-3-1　实验数据记录表

计数点	时刻（s）	位置坐标（cm）	相邻计数点间距（cm）	位移差（cm）	速度（m/s）	加速度（m/s^2）
O	0.00	0.00	s_1=1.60	s_2-s_1=0.40		2.46
A	0.04	1.60	s_2=1.95	s_3-s_2=0.40	v_A=0.44	
B	0.08	3.55	s_3=2.35	s_4-s_3=0.43	v_B=0.54	
C	0.12	5.90	s_4=2.73	s_5-s_4=0.39	v_C=0.64	
D	0.16	8.63	s_5=3.12	s_6-s_5=0.40	v_D=0.73	
E	0.20	11.75	s_6=3.52		v_E=0.83	
F	0.24	15.27				

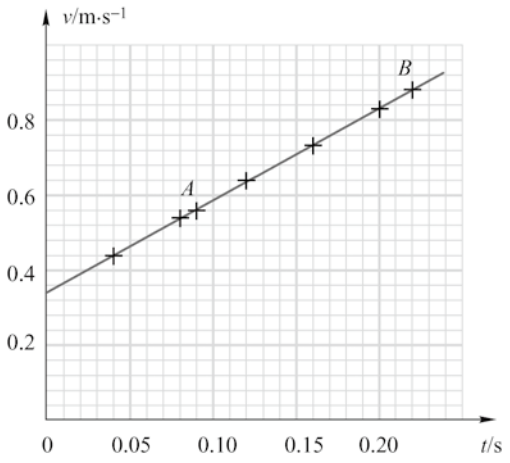


图2-3-10

会操作

在图线上取相距较远的两点A和B（图中黑色十字表示），坐标为A（0.09s，0.56m/s）、B（0.22s，0.88m/s）

图线斜率 $k=\frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}=2.46\text{m/s}^2$，即 $a=2.46\text{m/s}^2$

会操作

由公式 $a=\frac{\Delta s}{T^2}$，其中T=0.04s。求加速度

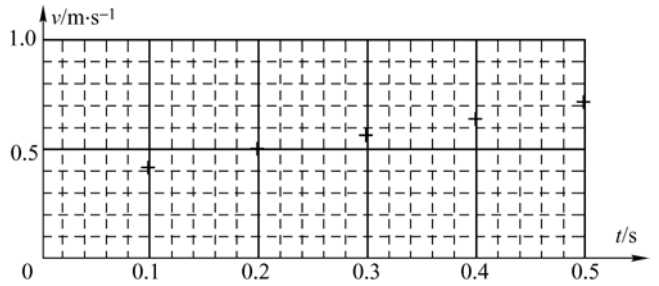
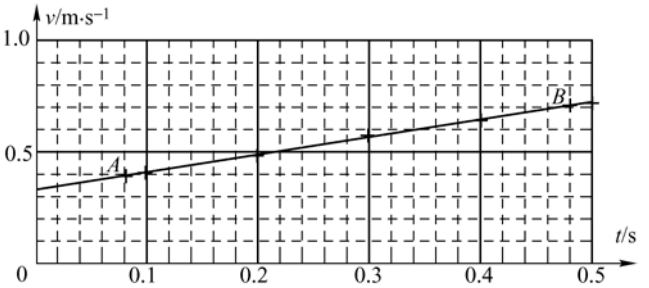
$a=\frac{\Delta s}{T^2}$ $a=\frac{\Delta x}{T^2}=\frac{(s_4+s_5+s_6)-(s_1+s_2+s_3)}{(3T)^2}=2.41\text{m/s}^2$

会说话

根据本实验的数据可知小车做匀变速直线运动。在实验中采用图像法测出小车的加速度为2.46m/s^2，采用公式法测出小车的加速度为2.41m/s^2，因为误差的存在，用两种数据处理方法得到的加速度值不一样。一般而言，由于在图像法中通过拟合图线可以减小误差，所以其结果可能更精确一些

本实验的误差主要来源于刻度尺的测量和读数误差以及描点绘图误差

反馈题答案

<table>
<tr><th colspan="2">【反馈题1】</th><th></th></tr>
<tr><td>思维操作</td><td colspan="2">解答过程</td></tr>
<tr><td>数据采集</td><td colspan="2">从纸带得到，相邻计数点间的距离s_1=3.62cm，s_2=4.38cm，s_3=5.20cm，s_4=5.99cm，s_5=6.80cm，s_6=7.62cm；相邻计数点的时间间隔为0.10s</td></tr>
<tr><td rowspan="4">数据处理1</td><td>计算各点速度</td><td>依据规律 $v_{\frac{t}{2}}=\overline{v}=\frac{s}{t}$ 可得
$v_B=\frac{s_1+s_2}{2T}=0.40\text{m/s}$　　$v_C=\frac{s_3+s_2}{2T}=0.48\text{m/s}$
$v_B=\frac{s_3+s_4}{2T}=0.56\text{m/s}$　　$v_E=\frac{s_4+s_5}{2T}=0.64\text{m/s}$
$v_F=\frac{s_5+s_6}{2T}=0.72\text{m/s}$</td></tr>
<tr><td>建立坐标系</td><td rowspan="2">描点（用“+”描点，最好用红色的笔），描点后大家会发现所有点近似在一条直线上

</td></tr>
<tr><td>描点</td></tr>
<tr><td>拟合图线</td><td>拟合图线：让一条直线经过所描的这些点。如果不能在一条直线上，尽量让这些点均匀地分布在直线两侧，即直线两侧的点到直线的距离大致相等

</td></tr>
<tr><td>求斜率</td><td>求直线斜率：选择直线上较远的两点A和B（图中黑色“+”字表示），坐标为A（0.08s，v_1=0.40m/s），B（0.48s，v_2=0.70m/s）
图线斜率 $k=\frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}=0.79\text{m/s}^2$，即 $a=0.79\text{m/s}^2$</td></tr>
</table>

续表

数据处理2	公式法	由公式 $a=\frac{\Delta s}{T^2}$，其中T=0.1s。求加速度 $a=\frac{\Delta s}{T^2}=\frac{(s_4+s_5+s_6)-(s_1+s_2+s_3)}{(3T)^2}=0.80\text{m/s}^2$
误差分析	因为误差的存在，由图像法和公式法得到的加速度值不一样。本实验的误差主要来源于刻度尺的测量和读数误差以及描点绘图误差	

训练营答案

1．ABD　2．交流，0.02　0.1　3．AB　4．（1）16.5；21.4；26.3；31.3；36.3　（2）a=49.6

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 匀变速直线运动的位移差公式　标签1

★ 误差　标签2

方法的形成

★ 利用纸带判断物体运动情况的方法　标签3

★ 测量匀变速直线运动的瞬时速度的方法　标签4

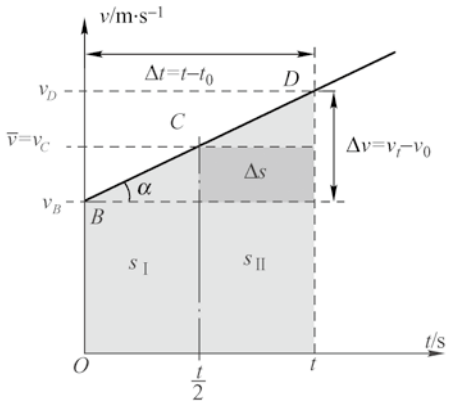
★ 测量匀变速直线运动的加速度的方法　标签5

★ 撰写高中物理实验报告的方法　标签 参见学习篇一级标题

结构图

知识体系

匀变速直线运动模型规律



思维操作

6个公式：

$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_t-v_0}{t-t_0}$　①

$v_t=v_0+at$　②

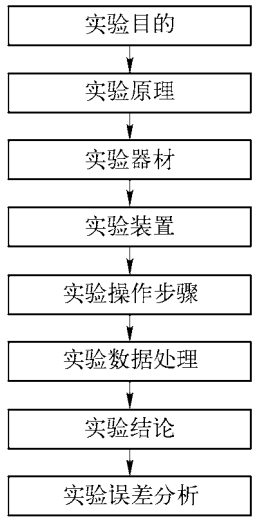
$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$　③

$v_{\frac{t}{2}}=\overline{v}=\frac{s}{t}=\frac{(v_0+v_t)}{2}$　④

$v_t^2-v_0^2=2as$　⑤

$a=\frac{\Delta s}{T^2}$　⑥

高中物理实验的操作流程　标签 参见学习篇一级标题



三、点拨与提高

在任何科学实验过程中都需要对某些量进行测量。测量所得到的数值与被测量的真实值之间不可避免地存在差异，这种差异称为测量**误差**。



标签2

1. 有效数字与科学计数法

当你用图2-3-5中的毫米刻度尺进行长度测量时，读出A点的位置坐标为1.60cm。这三位数字中，前两位是确定准确的，而最后一位数字是不确定的，是估计得出的。测量值中的这三位数字都是有用的，称为**有效数字**。用刻度尺测量长度时，要用有效数字记录测量结果。1.60与1.6在数值上相等，但它们反映的测量的精确程度却是不同的。由于测量值的最后一位是不准确的，所以一旦丢掉了0这一位，就意味着6是不准确的了。

我们也可以将这一坐标记为0.0160m。最前面的两个0只起到定位小数点的作用，而与测量值的精确程度无关，不是有效数字。对于很大或很小的量这样记录十分繁琐，为了既方便，又能正确反映测量值的精确程度，我们通常采用**科学计数法**记录测量**结果**。如1.60×10^{-2}m。前面是有效数字，后面称做**数量级**。



2. 绝对误差与相对误差

我们把测量值x和真实值μ的差值Δx称为测量值的**绝对误差**，即$\Delta x=x-\mu$。

由于测量值的绝对误差不能很好地反映一个被测量的精确程度，在实际测量中，我们把测量的绝对误差与真值的比值称为测量值的**相对误差**，即 $\varepsilon=\dfrac{\Delta x}{\mu}$。相对误差用百分数表示。

在本节的实验中，我们舍去点迹较密的一段纸带，就是为了缩小长度测量时的相对误差。比如我们用一把刻度尺测量一段真实长度为0.1m的距离。由于测量时零刻线没有与起始位置对齐，产生了0.0005m的偏差。这时的相对误差为

$$\varepsilon=\frac{\Delta x}{\mu}=\frac{0.0005\text{m}}{0.1\text{m}}\times100\%=0.5\%$$

而同样在此种情况下，如果被测量的距离是0.5m，则相对误差只有0.1%。

出于同样的原因，我们在图像法处理数据时，坐标纸应大一些。坐标轴标度应制定合理，使图线能尽可能将坐标纸充分利用，有利于减小作图过程产生的相对误差。

3. 系统误差与随机误差

根据误差产生的来源，通常把误差分为两大类：一类是**系统误差**，另一类是**随机误差**。

系统误差是由于仪器自身制造要求的精确程度有限，或实验原理与实验方法不完善而产生的误差。为了减小系统误差，我们可以采用精确程度更高的测量仪器，或是改进测量方法。

随机误差则是各种不确定因素对测量各环节造成的测量误差。如测量者，被测量的对象及测量过程，都可能产生随机误差。当我们测量的次数足够多时，由这些不确定因素造成测量值偏大或偏小的机会和幅度会差不多，所以可以用多次测量取平均值的方法减小随机误差。当我们用图像处理数据时，通过拟合图线也可以起到同样的作用。不仅如此，从图像中我们还可以方便地观察各数据点的分布情况。如果发现个别点明显不符合其他各点的分布规律，出现较大差异，就说明这个数据在测量时可能受到了强烈干扰或是在数据记录、运算或描点等环节出现了错误。我们可以找出错误或是将这个“坏点”丢弃，这样得出的结果往往更精确。

第四节　自由落体运动

体验篇

小芳：“艾爷爷，我们听说伽利略曾经在意大利的比萨斜塔（图2-4-1）上，将两个轻重不同的金属球从塔顶同时释放，结果两球同时落地。历史上确有其事吗？”

艾爷爷：“这或许只是个传说。不过，伽利略确实在他的《两门新科学》中运用理性思辨的方法，指出了亚里士多德对落体运动认识的错误。”艾爷爷继续说道，“然而据记载，在1612年有人从斜塔的某一高度处，释放两个大小和质量均不等的钢球，结果是重球先落地。这个现象似乎又支持了亚里士多德的观点。”



图2-4-1　比萨斜塔



图2-4-2　月球上的落体实验

机灵鬼：“那究竟谁的观点是正确的？”似乎越听越糊涂了。

只见艾爷爷从柜子里找来一张碟片，这是一段阿波罗15号航天员在月球上做落体实验图2-4-2的影像资料。以下是这一短片的声音记录稿：

167:22:06 Scott：　嗯，我的左手有一根羽毛，右手有一把锤子。我猜我们今天到这的原因之一是由于伽利略先生，在很久以前他有一个关于引力场中坠落物体的重大发现。我们想还有哪个地方能比在月球上证实他的发现更好呢？

167:22:28 Scott: 因此，我们想在这里亲自为大家试一下。羽毛恰恰是从我们的猎鹰身上获取的。我将在这儿投下锤子和羽毛，并希望他们会在同一时间击中地面。

（锤子和羽毛一起落下，几乎在同一时间击中地面。）

167:22:43 Scott：怎么样！

167:22:45 Allen：怎么样！（休斯顿响起掌声）

167:22:46 Scott：这证明了伽利略先生的研究结果是正确的。

（录像资料可到http://history.nasa.gov/alsj/a15/a15.clsout3.html 中去下载。文件格式MPEG（时长49SEC；大小6.2Mb））

体验建议	请找来两个大小近似，质量不同的玻璃球和钢球。将它们从同一高度同时释放，通过聆听落地声以判断它们是否同时落地。请找来一张纸，将它从某一高度释放。再将它揉成纸团，从原高度释放，观察两次下落的时间。

学习篇

一、自由落体运动

艾爷爷：“亚里士多德的理论，指的是落体的‘自然运动’，即没有空气阻力影响的落体运动。显然。在没有空气的月球表面所做的落体实验表明，伽利略是正确的。”

标签1

在物理学中，我们把**物体只在重力的作用下由静止开始的运动叫做自由落体运动**。这是一种理想条件下的运动过程。在现实环境中，如果物体下落时所受到的空气阻力远小于重力，就可以忽略空气阻力的影响，将这一过程近似看做自由落体运动。

艾爷爷：“这是小球做自由落体运动时拍摄的频闪照片（图2-4-3），频闪时间间隔T是$\frac{1}{30}$ s。大家能否利用这张照片判断出自由落体运动是不是匀变速直线运动？如果是，小球的加速度有多大？”



机灵鬼：“利用打点计时器和纸带可以测量加速度。这个频闪照片的频闪时间间隔相当于打点的时间间隔，频闪照片相当于纸带。”

小芳用刻度尺测量出相邻两个小球的间距，并求出相邻相等时间的位移差，填入表2-4-1。

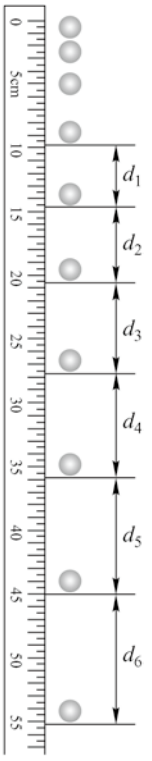


图2-4-3

表2-4-1　实验数据记录表

相等时间位移/cm	相邻相等时间位移差/cm
d_1=5.0	d_2-d_1=1.0
d_2=6.0	d_3-d_2=1.0
d_3=7.0	d_4-d_3=1.2
d_4=8.2	d_5-d_4=1.0
d_5=9.2	d_6-d_5=1.0
d_6=10.2	

结果表明，相邻相等时间内的位移差近似相等，所以自由落体运动是匀变速直线运动，利用以上的数据，可得小球的加速度

标签4

$$a=\frac{\Delta s}{t^2}=\frac{(d_4+d_5+d_6)-(d_1+d_2+d_3)}{(3T)^2}=9.4\text{m/s}^2$$

大量科学实验证明：**在同一地点，所有做自由下落的物体都具有相同的加速度，它是在地球重力影响下产生的加速度，所以叫重力加速度，通常用g表示。**

标签1

精确的实验发现，在地球的不同地方，自由落体运动的加速度略有不同。但均近似为9.8m/s^2，方向竖直向下。小芳利用频闪照片测得加速度值为9.4m/s^2，比这一理论值稍小，这主要是由于空气阻力的影响。

仿真实验操作提示	请将随书附送的多媒体光盘放入电脑中，在“第二章”文件夹中找到“物体做自由落体运动的闪光照片”文件，“拍摄”一张属于你的闪光照片，并根据显示的有关数据分析小球运动的规律

二、自由落体运动的规律

1. 自由落体运动的公式

标签2

自由落体运动就是匀变速直线运动在$v_0=0$，$a=g=9.8\text{m/s}^2$的特例，所以，所有匀变速直线运动的规律对自由落体运动都适用。请你写出自由落体运动的规律：

自由落体的速度公式_____①；

自由落体的位移公式_____②；

自由落体的位移和速度关系公式_____③。

2. 自由落体的v–t图像

标签5

我们可以利用自由落体运动的v–t图像，简便地得到一些常用关系。

从图2-4-4我们可以知道：

质点在1秒末，2秒末，3秒末…速度之比_____④；

前1秒内，前2秒内，前3秒内…位移之比_____⑤；

第1秒内，第2秒内，第3秒内…位移之比_____⑥。

从图2-4-5我们可以知道：

通过连续相等位移s的时间之比_____⑦；

通过连续相等位移s的末速度之比_____⑧。

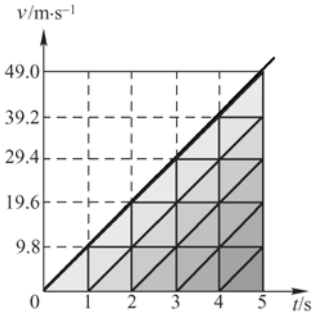


图2-4-4

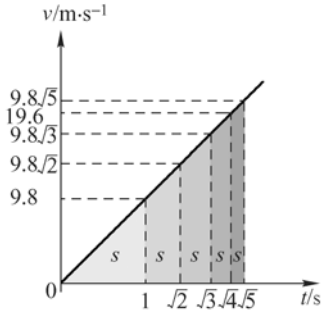


图2-4-5

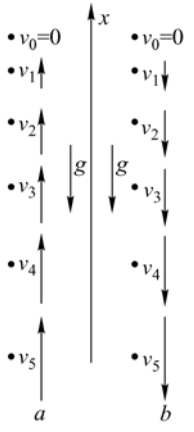


图2-4-6

三、竖直上抛运动

阿牛：“自由落体运动的初速度为零，加速度为g。那么如果我将这块橡皮向上抛出，它的运动又是怎样的规律呢？”说着，阿牛将手中的橡皮高高地抛向空中。

艾爷爷：“橡皮的运动可看做**竖直上抛运动**。这种运动的初速度方向向上，加速度与自由落体运动的加速度相同。”艾爷爷边说边画了一张图（图2-4-6）。

标签3

艾爷爷：“这是竖直上抛运动的情境图。我们可以在竖直方向建立坐标系，选择向上为正。质点以初速度v_5开始运动，加速度方向向下，$a=-g=-9.8\text{m/s}^2$，质点的速度逐渐减小，经过一段时间速度减小到零。质点到达最高点。”

小芳：“当质点上升到最高点时，加速度是多少？”

机灵鬼：“此时质点的速度是零。如果加速度也是零，则质点应保持静止状态，停留在最高点处。这显然是不可能的。”

艾爷爷：“是的，在竖直上抛过程中，质点的加速度大小始终不变，方向向下。所以质点会立即从最高点自由下落。”

艾爷爷：“你们是否可以绘制一张竖直上抛运动的$v-t$图像？从图像中你们是否能够发现一些新的特点？”艾爷爷又开始考验大家了。

机灵鬼：“竖直上抛运动上升阶段与下降阶段的加速度相同，所以图像应为一条倾斜直线。若抛出的物体最终回到抛出点，那么物体上升阶段和下落阶段所经历的时间相等，回落到出发点时的速度大小与初速度大小也相等。”机灵鬼边说边举起自己画的图。

小贴士

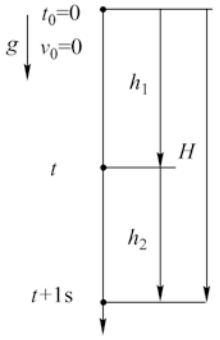
一切做自由落体运动或竖直上抛运动的物体，加速度都等于g，方向竖直向下，这并不是巧合。我们将在第四章解释其中的原因。如果你的好奇心很强烈，那就提前预习吧！

会画图

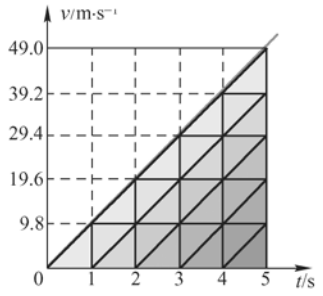
请画出竖直上抛运动的$v-t$图像

【例题1】

一个物体从塔顶上下落，在到达地面前最后1s内通过的位移是整个位移的7/16，则塔高为多少？（g取9.8m/s^2）

思维操作	解答过程
研究对象	质点
情境图	
物理模型	自由落体运动

续表

	自由落体公式	图像
适用规律	$v=gt$ ① $h=\frac{1}{2}gt^2$ ② $v^2=2gh$ ③	
特定条件	空间、时间条件：最后1s的位移为h_2，且$\frac{h_2}{H}=\frac{7}{16}$	
决策	题目给出的是两段位移之比，以及发生这两段位移的时间关系。所以选择位移随时间变化的规律，即位移公式。分别选择零时刻至t时刻，零时刻至t+1时刻加以描述时初速度均为零，可以使方程形式更简单	
运算过程	公式法：物体做自由落体运动，以竖直向下方向为正 $h_1=\frac{1}{2}gt^2$ ① $H=\frac{1}{2}g(t+1)^2$ ② $\frac{h_1}{H}=\frac{H-h_2}{H}=1-\frac{h_2}{H}$ ③ 联立以上各式，H=78.4m 图像法：由③式可知，$\frac{h_1}{H}=\frac{9}{16}$。根据自由落体运动图像可知，$v$–$t$图像的面积表示位移。由相似三角形关系可知$t$=3s，代入②式，解得$H$ = 78.4m	

标签5

【反馈1】

物体从距离地面高度为H处开始做自由落体运动。物体下落到地面的速度大小为_____，当其速度达到着地速度的$\frac{1}{3}$时，物体距地面的高度为_____

思维过程	解答过程
研究对象	
情境图	

续表

物理模型		
适用规律	公式	图像
特定条件		
决策		
运算过程		
分析结果		

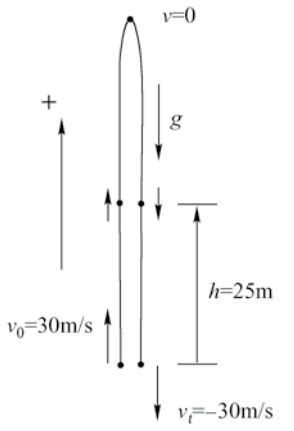
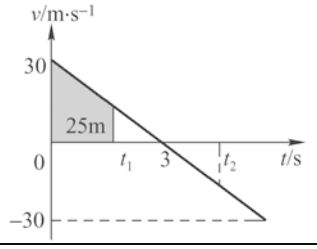
【例题2】

从地面以30m/s的初速度竖直上抛的球，若不计空气阻力，到达距地面25m高处所用时间为（　　）（g取10m/s^2）

A．1s　　B．2s　　C．4s　　D．5s

思维操作	解答过程
研究对象	质点

续表

<table>
<tr><td>情境图</td><td colspan="2">
</td><td>读题时应注意到小球将两次经过25m高处，所以要在25m处画出两个位置点，标明这两个状态的速度
图中的曲线是为了区分上升和下降过程，不是物体的运动轨迹</td></tr>
<tr><td>物理模型</td><td colspan="2">竖直上抛运动</td></tr>
<tr><td rowspan="2">适用规律</td><td>公式</td><td>图像</td></tr>
<tr><td>位移公式：
$h=v_0t+\frac{1}{2}at^2$　①
$h=\frac{v_t^2-v_0^2}{2a}$　②</td><td>
</td></tr>
<tr><td>特定条件</td><td colspan="2">已知条件：初速度、位移和加速度，求t</td></tr>
<tr><td>决策</td><td colspan="2">利用①矢量式全程求解最为简便</td></tr>
<tr><td rowspan="2">运算过程</td><td colspan="2">公式法：物体做匀变速直线运动，取竖直向上为正，则加速度为$a=-g$。$h=v_0t+\frac{1}{2}(-g)t^2$，代入数据$25=30t-5t^2$，解得$t=1$s或5s</td></tr>
<tr><td colspan="2">图像法：由图像可知，速度减小为零，时间间隔为$t=\frac{v}{g}=3$s，v–t图像的面积表示位移，则$h=\frac{1}{2}[v+g(3-t_1)]t_1$，带入数据，解得$t_1$=1s
由图像可知$3-t_1=t_2-3$，t_2=5s</td></tr>
<tr><td>分析结果</td><td colspan="2">单位是否正确？单位为m。数值是否正确？1s是上升阶段经过25m的时间，5s是下落到25m处所用的时间</td></tr>
</table>

标签5

我的训练营

标签5

1．物体从h高处自由下落，当它下落的时间是整个下落时间的一半时，它离地面的高度为（　　）

A．$\frac{1}{2}h$　　B．$\frac{1}{4}h$　　C．$\frac{3}{4}h$　　D．$\frac{\sqrt{2}}{2}h$

2．自由下落的物体，它的落地速度为v，则当它下落到全程一半处时的速度为_____。

3．如图2-4-7所示为小球做自由落体运动时，用频闪照像获得的轨迹的一部分，量得1、2之间的间隔为7.70cm，2、3之间的间隔为8.75cm，每次闪光的时间间隔为$\frac{1}{30}$s，小

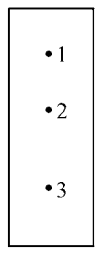


图2-4-7

球运动到计数点2时的瞬时速度为_____m/s，小球下落的加速度为_____m/s^2。（保留3位有效数字）

4．竖直悬挂一根15m长的杆，在杆的正下方，距杆下端5m处有一个观察点A，现让杆自由下落，杆全部通过A点所用的时间为多少？

5．一个物体从H高处自由落下，经过最后196m所用的时间是4s，求物体下落H高所用的总时间T和高度H是多少？取g=9.8m/s^2，空气阻力不计。

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

方法的形成

★

★

结构图

知识体系	自由落体运动与竖直上抛运动的分类关系	思维操作

指导篇

一、参考答案

行文补丁

标签2

① $v=gt$　② $h=\frac{1}{2}gt^2$　③ $v^2=2gh$

④ 1∶2∶3…

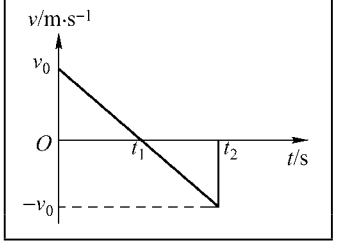
⑤ 1∶4∶9…

⑥ 1∶3∶5…

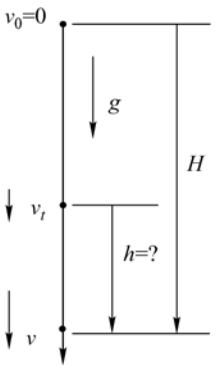
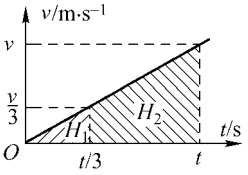
⑦ $1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2})\cdots$

⑧ $1:\sqrt{2}:\sqrt{3}\cdots$

会画图



反馈题答案

<table>
<tr><th colspan="3">【反馈1】</th></tr>
<tr><td>思维过程</td><td colspan="2">解答过程</td></tr>
<tr><td>研究对象</td><td colspan="2">质点</td></tr>
<tr><td>情境图</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>物理模型</td><td colspan="2">自由落体运动</td></tr>
<tr><td rowspan="2">适用规律</td><td>公式</td><td>图像</td></tr>
<tr><td>匀变速直线运动公式：
$v_t^2-v_0^2=2gh$</td><td>
</td></tr>
<tr><td>特定条件</td><td colspan="2">$v_t=\frac{v}{3}$</td></tr>
<tr><td>决策</td><td colspan="2">对全过程和局部过程分别适用匀变速直线运动方程</td></tr>
<tr><td rowspan="2">运算过程</td><td colspan="2">公式法：物体做自由落体运动，规定竖直向下为正
对于全过程 $v^2=2gH$　　①
对于局部过程，设距地面高度为h，有 $v^2-v_t^2=2gh$　　②
由①可得 $v=\sqrt{2gH}$，代入②得 $h=\frac{8}{9}H$</td></tr>
<tr><td colspan="2">图像法（求解第二问）：
由v–t图像，根据几何关系可知：若小三角形的高是大三角形高的$\frac{1}{3}$，那么小三角形的底边也是大三角形底边的$\frac{1}{3}$
由此可知两个三角形的面积之比
$\frac{H_1}{H_1+H_2}=\frac{1}{9}$，可得 $H_2=8H_1$
所以 $\frac{H_2}{H_1+H_2}=\frac{H_2}{H}=\frac{8}{9}$</td></tr>
<tr><td>分析结果</td><td colspan="2">公式法与图像法互相印证，说明结果是正确的</td></tr>
</table>

我的训练营

1．C　2．$\frac{\sqrt{2}}{2}v$　3．2.47　9.45　4．1s　5．7s　240.1m

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 自由落体运动、自由落体运动的加速度　标签1
★ 自由落体运动的规律　标签2
★ 竖直上抛运动　标签3

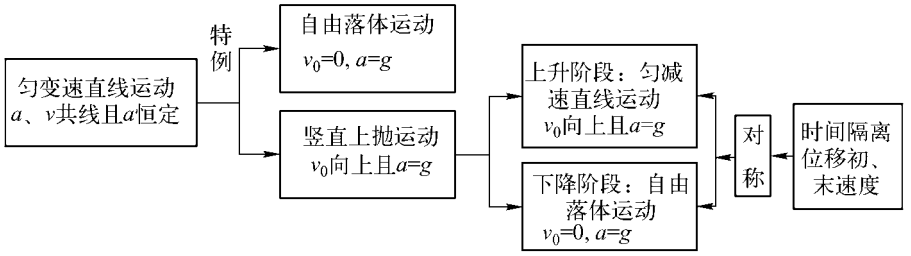
方法的形成

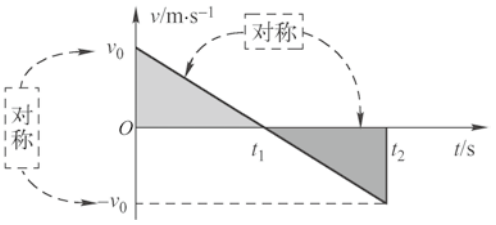
★ 利用打点计时器和纸带判断匀变速直线运动的方法　标签4
★ 数形结合、数理结合的方法　标签5

结构图

知识体系　思维操作

自由落体运动与竖直上抛运动的分类关系　标签 请在全节中寻找答案





三、点拨与提高

不论是在科学研究或是我们的学习过程中，经常会运用图像分析解决问题。那么，如何能



灵活地运用好图像帮助我们思考呢？将物理语言、数学语言和图形语言三者结合起来（图2-4-8），明确它们之间的关系是这一问题的关键！

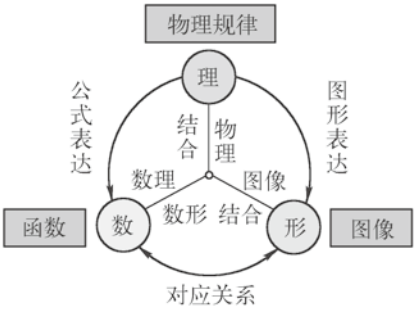


图2-4-8

1. 数形结合——函数与图像的关系

函数表达式$y=f(x)$反映了因变量y与自变量x之间的关系。每个函数均有图像与其对应。例如：正比例函数的表达式是$y=kx$，图像是一条过原点的直线，二次函数的表达式是$y=ax^2+bx+c$，是一条抛物线。所以，看函数可知图像，看图像可知函数。

2. 数理结合——函数与物理规律及情景的关系

当因变量与自变量被赋予具体的物理含义时，函数就具有了现实意义，从此获得了“生命”。函数是物理学中的某个物理规律的数学体现，也是某个物理事件发展变化的数学描述。

所以，通过函数及其图像，我们能够复现相对应的物理情景，也可以将某个物理过程用函数或图像来表达。比如在本章第二节中，我们利用图像推导了多个匀变速直线运动规律。而在第三节和本节中，我们又在运用图像分析求解问题。以后我们还要经常和物理图像打交道。

为了能够更好地认识和理解图像，我们在学习中应注意抓住以下六个字：轴、点、线、面、斜、截。

表2-4-2　认识图像的“六字箴言”

坐标轴	数学含义	自变量x与因变量y
	物理含义	物理事件的起因（x）与物理事件的结果（y）
数据点	数学含义	点的坐标A（x，y）
	物理含义	某个物理状态
曲线	数学含义	函数关系式$y=f(x)$
	物理含义	物理事件的发展变化过程
面积	数学含义	图像与其在横轴上的投影所围的面积
	物理含义	某个物理量
斜率	数学含义	图线的斜率$k=\tan\theta=\Delta y/\Delta x$，反映图线的倾斜程度
	物理含义	某个物理量（变化率）。反映因变量随自变量变化的快慢
截距	数学含义	$x=0$时的y值或$y=0$时的x值
	物理含义	某个物理量。反映在某个特定条件下的状态

说到这里，我又瞥了一眼图2-4-8，忽然发现它好似一辆汽车的方向盘。也许它就是想告诉我们：只要把握住了它，也就把握住了前进的方向……

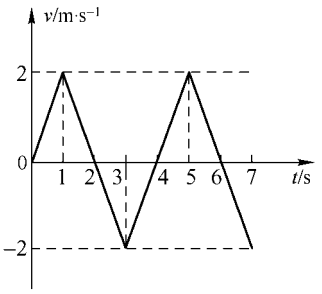
检测篇

一、检测题

1. 皮球从3m高处落下，被地板弹回，在距地面1m高处被接住。则皮球通过的路程和位移的大小分别是（　　）

A．4m、4m　　B．3m、1m　　C．3m、2m　　D．4m、2m

2．一物体沿直线运动，其v–t图像如右图所示，则关于该物体的运动情况，下述正确的是（　　）



A．第1s末物体的位移和速度都改变方向

B．第2s末物体的位移和速度都改变方向

C．前4s内物体的位移为零

D．第1s末、第3s末、第5s末物体所在的位置相同

3．几个做匀变速直线运动的物体，在t秒内位移最大的是（　　）

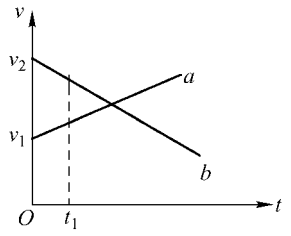
A．加速度最大的物体　　B．初速度最大的物体

C．末速度最大的物体　　D．平均速度最大的物体

4．某同学身高1.6m，在运动会上他参加跳高比赛，起跳后身体横越过了1.6m高度的横杆，据此可估算出他起跳时竖直向上的速度大约为（　　）（g取10m/s^2）

A．1.6m/s　　B．2m/s　　C．4m/s　　D．7.2m/s

5．甲和乙两个物体在同一直线上运动，它们的v–t图像分别如右图中的a和b所示。在t_1时刻（　　）



A．它们的运动方向相同

B．它们的运动方向相反

C．甲的速度比乙的速度大

D．乙的速度比甲的速度大

6．骑自行车的人沿着直线从静止开始运动，运动后，在第1s、第2s、第3s、第4s内，通过的路程分别为1m、2m、3m、4m。有关其运动的描述正确的是（　　）

A．平均速度是2.5m/s

B．在第3、4秒内平均速度是3.5m/s

C．第3秒末的即时速度一定是3m/s

D．该运动一定是匀加速直线运动

7．汽车自O地出发从静止开始在平直公路上做匀加速直线运动，途中在6s内分别经过P、Q两根电杆，已知P、Q电杆相距60m，车经过电杆Q时的速率是15m/s，则（　　）

A．经过P电杆时的速率是5m/s　　B．车的加速度是1.5m/s^2

C．P、O电杆间的距离是7.5m　　D．车从出发到Q电杆所用的时间是9s

8．一物体沿长为l的光滑斜面，从静止开始由斜面的顶端下滑到斜面底端的过程中，当物体的速度达到末速度的一半时，它沿斜面下滑的长度为（　　）

A．$\frac{l}{4}$　　B．$l(\sqrt{2}-1)$

C．$\frac{l}{2}$　　D．$\frac{l}{\sqrt{2}}$

9．从某高处无初速释放一粒小石子，经过1s从同一地点无初速释放另一小石子，则它们落地之前，两石子之间的距离将（　　）

A．保持不变　　B．不断变大

C．不断减小　　D．有时增大有时减小

10．一物体做匀变速直线运动，某时刻速度的大小为4m/s，1s后速度的大小变为10m/s，在这1s内物体（　　）

A．位移的大小可能小于4m

B．位移的大小不可能大于10m

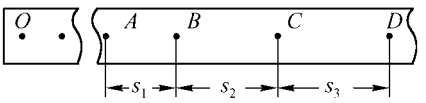
C．加速度的大小可能小于4m/s^2

D．加速度的大小可能大于10m/s^2

11．以v = 10m/s的速度匀速行驶的汽车，第2s末关闭发动机，第3s内的平均速度大小是 9m/s，则汽车的加速度大小是_____m/s^2，汽车10s内的位移是_____m。

12．某市规定：卡车在市区内行驶速度不得超过40 km/h。一次一辆卡车在市区路面紧急刹车后，经1.5 s停止，量得刹车痕迹s=9m，问这车是否违章？_____。

13．某同学研究小车在斜面上的运动，现用打点计时器记录小车做匀变速直线运动的情况，得到了一段纸带如下图所示。在纸带上选取几个相邻计数点A、B、C、D，相邻计数点间的时间间隔均为T，测量出A与B两点间的距离为s_1，B与C两点间的距离为s_2，C与D两点间的距离为s_3。由此可算出小车运动的加速度大小a=_____；打点计时器在打B点时，小车的速度大小v_B=_____。（用时间间隔T和所测的计数点间距离的字母表示）



14．一辆汽车正在以15m/s的速度行驶，在前方20m的路口处，突然亮起了红灯，司机立即刹车，刹车的过程中汽车的加速度的大小是6m/s^2。求刹车后3s末汽车的速度和刹车后汽车距离红绿灯有多远？

15．车从静止开始以1m/s^2的加速度匀加速直线前进，在车后s_0=25m处与车开动的同时，某人以6m/s的速度匀速追车，问能否追上？若追不上，求人与车间的最小距离。

仿真实验操作提示	请将随书附送的多媒体光盘放入电脑中，在“第二章”文件夹中找到“两个物体的运动”文件，双击打开。按照本题所给出的条件，根据操作提示设定初始参量，运行程序，观察两物体的运动过程和对应的运动图像，分析两物体距离的变化情况

16．升降机以10m/s的速度匀速下降时，在升降机底板上方高5m的顶部有一螺丝脱落，螺丝经多长时间落到升降机的底板上？（g=10m/s^2）

二、检测题答案

1．D　2．CD　3．D　4．C　5．AB　6．B　7．ACD　8．A　9．B　10．AD

11．2　45　12．是　13．$\frac{s_3-s_1}{2T^2}$，$\frac{s_1+s_2}{2T}$　14．0　1.25m

15．追不上，最小距离为7m　16．1s

我的收藏夹

Chapter 3
第三章　相 互 作 用

学习指导语

先把运动学的内容放一放，本章将学习物体间的相互作用力遵循着什么样的规律。为什么要先学运动学，后学力学呢？这其实跟人类对物理学的认识过程有关，下一章我们将探讨运动学和力学之间的联系。

你一定有很多关于物体间存在力的生活经验，这对于你学习本章很有帮助。但要想把本章学好，还需要你掌握“按照力的产生规律去分析问题的技能”。当你把经验和技能结合起来时，你就会有很大的收获。

第一节　重力　基本相互作用力

体验篇



小芳：“艾爷爷您这是玩什么呢？”

艾爷爷：“给你们表演一下，看谁能看透‘玄机’。”

艾爷爷拿起一个双锥体，放在如图3-1-1所示甲的实验装置较低的位置上，松手后双锥体向上爬去。

小芳：“双椎体自己向上爬了，不应该呀！”

阿牛：“好像可以用重心解释。”

机灵鬼：“我补充一下！”并画了一张图3-1-1乙。“看起来双锥体是爬高了，但它从相距较近的轨道向相距较远的轨道运动时，由于双锥体的特殊形状，重心的位置降低了，实际双锥体还是从高处向低处爬。”

艾爷爷：“答得好！机灵鬼画的图，一目了然。思考一个问题：为什么双锥体向低处爬，水向低处流呢？”

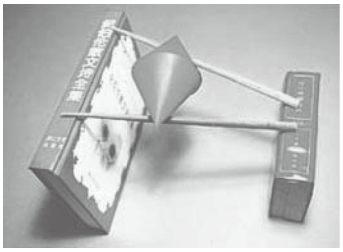


图3-1-1 甲

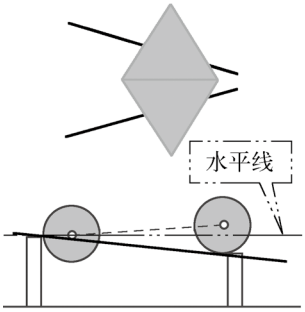


图3-1-1 乙

体验建议	（1）尝试做一个“会爬高的双锥体” （2）体验一下抵抗自己重力（连续爬10层楼）或其他物体重力的感觉（连续10次举起30kg的哑铃）

学习篇

一、重力

1. 重力的产生

艾爷爷：“为什么地球附近的物体会受到重力作用呢？”

小芳：“因为地球对物体有吸引力”。

艾爷爷：“重力就是引力吗？”

小芳：“是。这有什么不同吗？”

艾爷爷：“引力不能完全等同于重力，这是因为地球存在自转，那么地表的物体也在围着地轴做圆周运动，从而导致了引力和重力有差别。今天我们还不能完全说清楚，有兴趣的同学可以先看看万有引力一章。（如图3-1-2所示，O点是地球的地心，而O'是生活在北京的人转动的圆心。）”

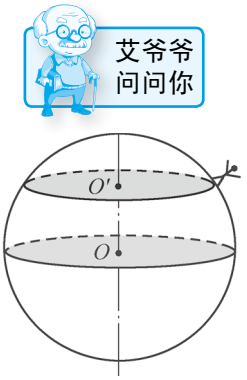


图3-1-2

2. 重力大小

在初中我们已经了解了物体重力的大小和质量的关系

$$G = mg$$

其中表达式中的g就是上一章所说的**重力加速度**。根据测量，地球附近不同地点的重力加速度大小是不一样的。见表3-1-1。

表3-1-1

地　点	纬　度	重力加速度
北极	90°	9.832
莫斯科	55° 45′	9.816
北京	39° 45′	9.801
广州	23° 06′	9.788
赤道	0°	9.780

艾爷爷：“如果给大家一个物体，你该如何测量它的重力大小？”

小芳：“这个简单，利用弹簧测力计就可以测量物体重力的大小，如图3-1-3所示。物体静止时，弹簧秤上显示的示数2.4N就是物体重力的大小”。

阿牛：“我也有一个办法。根据重力和质量的关系$G=mg$可知，只要测量出物体的质量m和物体所在位置的重力加速度g的大小，这样就可以计算出物体重力的大小。质量m可以用天平测量，重力加速度g可以用重锤和打点计时器来测量，如图3-1-4所示。为了减小误差，建议使用电火花计时器。

艾爷爷：“你们的回答都很好。那么这两种测量的结果有差别吗？”

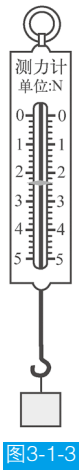


图3-1-3

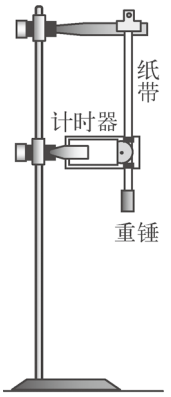


图3-1-4

阿牛：“应该是相同的。”

艾爷爷：“正是这两种测量方式的结果相同，成为了爱因斯坦推导广义相对论时的唯一实验证据。如果上大学后你们继续学习物理，这两个实验结果是否相同的问题仍然会被提及到。”关于引力质量、惯性质量，感兴趣的同学可阅读第六章万有引力第三节后的点拨

与提高。

3. 重力的方向

重力总是竖直向下的，物体做自由下落的方向就是竖直向下的。

4. 重心

根据重力的作用效果，有时可以把物体受到的重力看成集中作用在物体的某一点上，这一点叫做物体的重心。

其实我们生活中也经常会有这样的体验，你用一个手指头就可以托起一本书，在你手指尖与书的接触点上方，就是书的重心位置。

质量分布均匀的物体，重心的位置是由它的几何形状所决定。而质量分布不均匀的物体，重心的位置则和物体的几何形状，以及质量分布都有关。

艾爷爷：“篮球的重心在哪里？”

阿牛：“球心！”

艾爷爷：“正确！”

机灵鬼：“一辆小轿车的重心是在中间吗?”

艾爷爷：“这个问题比较困难，因为不同形状的轿车，其内部的装配也不同，重心的具体位置要通过精确实验才能确定。”

二、基本相互作用力

生活中物体受力的情况到处可见，人们根据不同的情况对它们进行了分类，比如说按照物体的运动效果，可以把力分为动力和阻力；按照力的作用形式，还可以把力分为拉力、压力和支持力等。但物理学更重视按照力的性质（产生原因）对力进行分类。

1. 牛顿时代对力的分类

在牛顿时代科学家认识到按照力的产生原因，可以把生活中常见到的力分为三类：重力、弹力和摩擦力。而平时所说的拉力、支持力和压力从产生上都归结为弹力。本章我们将比较详细和系统地学习这三种力的规律。

2. 爱因斯坦时代力的分类——基本相互作用力

后来随着物理学的不断发展，科学家发现按照重力、弹力和摩擦力的分类方式并没有抓住力产生的本质。而现代物理学对按照力产生的原因把力分为4类：万有引力、电磁相互作用、强相互作用和弱相互作用。

重力来源于万有引力。牛顿时代的弹力和摩擦力都被归结为电磁相互作用，我们举起重物时，就是肌肉中的电磁相互作用与地球、物体之间的万有引力抗衡的过程。强相互作用和弱相互作用存在于原子核当中，我们天天享受到的阳光正是强相互作用的杰作，核电站、原子弹、氢弹还有我们的太阳都是利用强相互作用产生能量的。



我的整理箱

知识的梳理

★

★
★
★
★

指导篇

一、整理箱提示

知识的梳理

★重力的产生：地球附近的物体受到地球的吸引

★重力的大小：$G=mg$

★重力的方向：竖直向下

★常见力的分类：重力、弹力、摩擦力

★四种基本相互作用力：万有引力、电磁相互作用、强相互作用、弱相互作用

二、点拨与提高

中国古代玩具饮水鸟曾令爱因斯坦吃惊

苏联著名的科普作家雅·依·别莱利曼（Я.И.Перельман）曾在1936年编著的《趣味物理学续编》中写到：有一种中国的儿童玩具，谁见了都觉得奇怪。它的名字叫“饮水鸟”，如图3-1-5所示。把这小鸟放在一杯水前面，小鸟就会俯下身去把嘴浸到杯里，“喝”完一口水，又直立起来。直立一会儿，又会慢慢俯下身去，等到鸟嘴够到了水，“喝”了一口，又会直立起来。

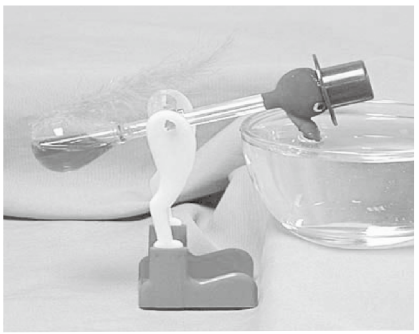


图3-1-5

http://www.eduly.cn/xykp/cz/htm/ysxy.htm

曾有人将涂了颜色、看不见内部奥秘的“饮水鸟”赠送给爱因斯坦博士，并对他说，科学家不是说永动机是不可能的吗？现在就让你瞧瞧这台永动机。当爱因斯坦看过并明白其原理时，真的十分惊叹“饮水鸟”的设计巧妙，因此这个玩具就被别人叫做“爱因斯坦也吃惊的玩具”。

饮水鸟的工作原理

饮水鸟头部（包括嘴部）通常被粘上一层红色毛毡，这种材料的吸水性很好。一个不能不提到的物品是1杯水，没有它，饮水鸟是不会动作的！在第一次使用时，你要把饮水鸟的头部按在水杯里，让这只鸟头部的毛毡吸水被浸湿。放开手后，这只鸟摇摆起来。由于毛毡上水的蒸发，导致头变得比腹部温度稍低（即有一个“微温差”）。而鸟的摇摆的行动又协助了蒸发的加速（就像你沾水的手在空中挥舞感到更凉快一样），真是巧夺天工！

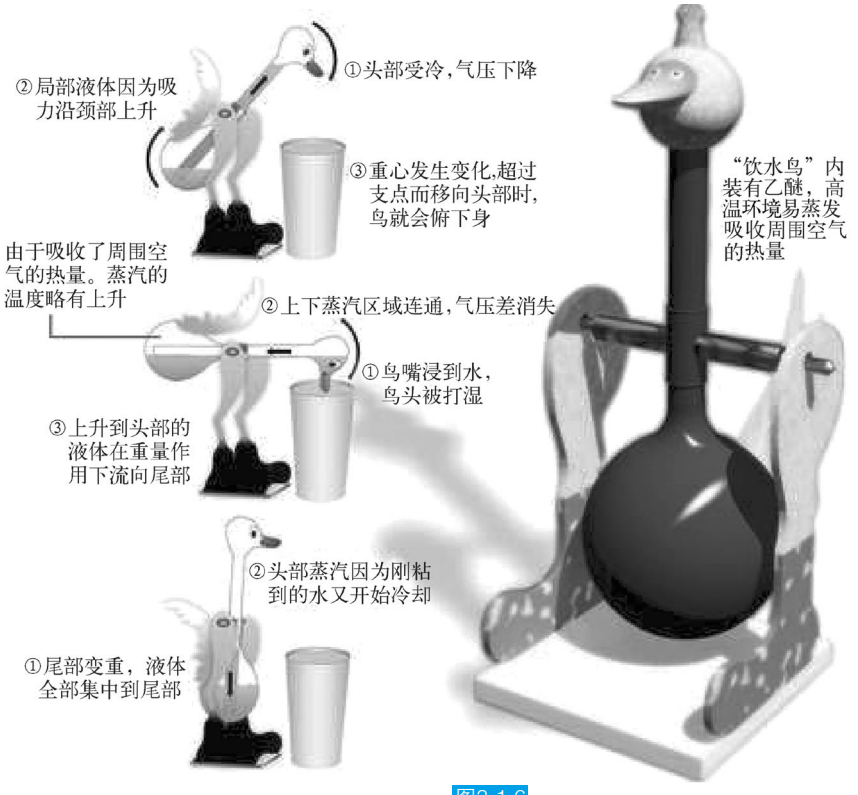


图3-1-6

http://news.eastday.com/eastday/news/node37955/node37957/node57056/node65376/userobject1ai1143650.html

饮水鸟腹部的玻璃器皿中有二氯甲烷或者乙醚液体，它们都很容易蒸发，不需要获取很多热量就能汽化变成蒸气。头部和玻璃管的上部看起来是空的，实际上是充满了从二氯甲烷蒸发出来的蒸气。

“喝水后”头部温度降低,一些乙醚蒸气冷凝为小液滴，占用的空间减少，使头部里面的压力比腹部稍低，头部和腹部之间的压力差，导致了液体被吮进玻璃管上升进入头部。随着液体沿玻璃管上升进入头部，使饮水鸟的重心逐渐移动到转动轴以上，这导致它倾斜越来越多，直到它最终“头重脚轻”地低头“饮水”。

当饮水鸟的身体差不多呈水平状态时，在腹部内的玻璃管的末端与液体脱离接触， 2只玻璃球的空间连通，在腹部的液体之上的蒸气现在可以迅速地通过玻璃管进入到头部，使头部和腹部的气压相等，气压差消失。这时，以前移动到头部的液体汩汩地向下流回腹部。

由于头部的液体流回腹部，它的重心回到转动轴以下比较低的腹部，因此这只鸟的头部离开玻璃杯，摇摆着恢复直立状态。然后，头部毛毡上的水分又蒸发，饮水鸟重复上述过程……

《中国古代玩具饮水鸟曾令爱因斯坦吃惊》的文字和图片来自:

http://www.eduly.cn/xykp/cz/htm/ysxy.htm

http://news.eastday.com/eastday/news/node37955/node37957/node57056/node65376/userobject1ai1143650.html

第二节　弹　力

体验篇

阿牛：“艾爷爷，航空母舰可以供飞机起飞和降落，它没有那么长的跑道，为什么飞机还可以安全降落呢？”

艾爷爷：“看图3-2-1和3-2-2，飞机在航空母舰上降落和在飞机场降落有何不同？”



图3-2-1



图3-2-2

阿牛：“多了一条钢缆？”

艾爷爷：“对，在航空母舰上降落的飞机，必须使尾钩钩住甲板上4根阻拦索之一，才能使飞机安全停在甲板上。阻拦索是用高强度钢丝编成的钢缆，产生的弹力能够使速度为241km/h、质量达24 500kg的飞机在2秒钟之内停下来，滑行距离不超过96米。

（摘自www.defence.org.cn/Article-1-44444.html）

体验建议	用手压弹簧，感受弹簧对手的弹力。弹簧对你手的弹力的大小和弹簧形变之间有什么样的规律？

学习篇

一、弹性形变和范性形变

物体在外力作用下发生形状改变的情形在生活中到处可见。在外力撤去后，有的物体恢复了原状，如图3-2-3所示，当箭被射出后，拉弯的弓弦恢复了原状；有的物体却不能恢复原状，如图3-2-4所示，被按压的橡皮泥不可能恢复原状。物理学中把可以恢复原状的形变称之为**弹性形变**；不能恢复原状的形变称之为**范性形变**。



图3-2-3

www.shsports.gov.cn/website/typs/typs_display.jsp?ct_id=33552

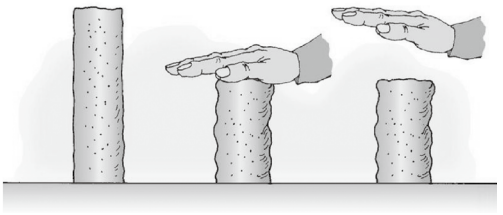


图3-2-4

baike.baidu.com/view/562234.htm?fr=ala0

二、从弹性形变理解弹力的产生

发生了弹性形变的物体有恢复原状的能力，这种恢复原状的能力就体现为两个接触物体间的弹力作用。

在图3-2-5中可以看出，与甲图相比，乙图中弹簧处于压缩状态，弹簧为了恢复原状就会向上挤压上面的小球，所以小球就受到了向上的弹力作用，如丙图。

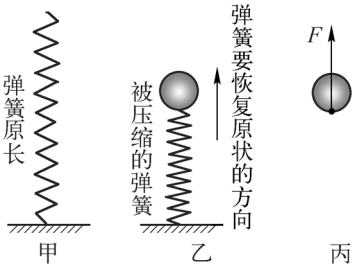


图3-2-5

标签1

产生弹力的物体一定发生了弹性形变。有些物体的形变是比较明显的，如皮筋、弹簧、海绵；也有不太明显的，如桌子发生的微小形变就不容易被发现，经实验证实只要有弹力的存在，两个接触的物体都会发生弹性形变。

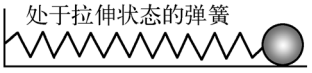
初中学习过的拉力、压力和支持力都是由于弹性形变而产生的，本质上这三个力都是弹力。弹力是**按照性质（产生原因）命名**的，而拉力、压力和支持力是**按照作用效果命名**的。

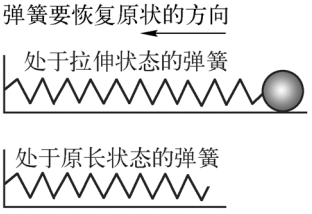
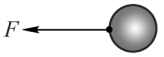
三、从弹性形变理解弹力的方向

因为弹力是发生弹性形变的物体要恢复原状而产生的，所以弹力方向一定与发生弹性形变的物体要恢复原状的方向一致。

【例题1】

有一个小球和水平拉伸的弹簧固定在一起，请根据弹力方向的规律来确定小球受到的弹力方向

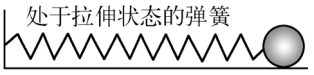


思维过程	解答过程
研究对象	弹簧（因为小球受到的弹力是弹簧施加的，所以应该研究弹簧的弹性形变）
情境图	 会画图 在情境图中标记弹簧的原长是高中学习的好习惯
适用规律	弹力方向一定与发生弹性形变的物体要恢复原状的方向一致
分析结果	因为弹簧处于拉伸状态，所以弹簧的右端恢复原状的方向是向左，因此小球受到向左的拉力作用 
会说话	因为弹簧是拉伸的，弹簧右端是向左恢复原状的，所以小球受到向左的拉力作用

标签2

【反馈1】

有一个小球和水平拉伸的弹簧固定在一起，请根据弹力方向的规律来确定墙壁受到的弹力方向



思维过程	解答过程
研究对象	
情境图	
适用规律	
分析结果	

因为拉力、支持力和压力的本质都是弹力，所以这些力的方向也遵循“**一定与发生弹性形变的物体要恢复原状的方向一致**”。在此基础上，拉力、支持力和压力的方向还有各自的规律：

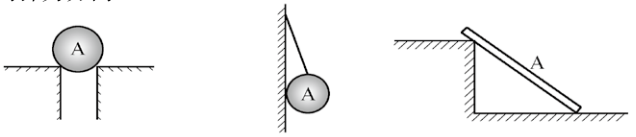
标签3

拉力一定沿绳子或弹簧收缩的方向；

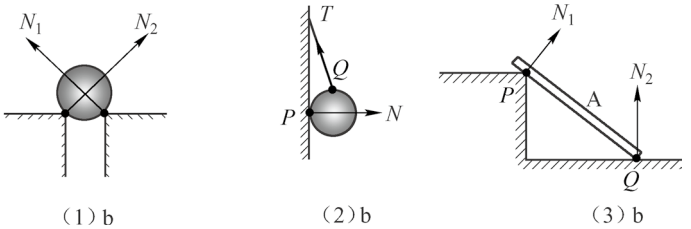
支持力和压力一定垂直于接触面。

【例题2】

画出物体A所受到的弹力方向



（1）a　（2）a　（3）a

思维过程	解答过程
研究对象	物体A
情境图	

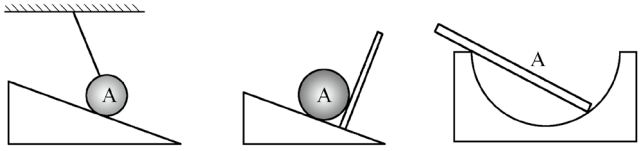
（1）b　（2）b　（3）b

续表

适用规律	弹力方向一定与产生弹力的物体要恢复原状的方向一致 拉力一定沿绳子或弹簧收缩的方向 支持力和压力一定垂直于接触面
分析结果	图（1）b中，当墙角的“点”与球的“圆面”接触时，支持力N_1和N_2一定垂直于小球的圆面（垂直于过小球接触点的切面） 图（2）b中，P点是墙面与球面 接触的点，支持力N既垂直于斜面，也同时垂直于球面；Q点是绳子的拉力的作用点，所以拉力一定沿着绳子收缩的方向 图（3）b中，P点是墙角与杆的侧面接触的点，支持力垂直于直杆的侧面；Q点是直杆的角与地面接触的点，支持力垂直于地面

【反馈2】

画出物体A所受到的弹力方向



（1）　（2）　（3）

思维过程	解答过程
研究对象	
情境图	
适用规律	
分析结果	

四、弹簧弹力的大小

艾爷爷：“用手压弹簧时，弹簧形变大小和弹力大小有什么关系呢？”

小芳：“压得越厉害，弹力越大。”

艾爷爷：“请你设计一个实验来研究一下弹簧弹力和弹簧伸长量之间的关系。器材：带指针的弹簧、钩码（50g）、刻度尺以及铁架台。”

1. 会根据实验目的和实验器材确定需要直接测量的物理量　会实验　标签4

实验目的：研究弹簧弹力和弹簧伸长量之间的关系

实验器材：带指针的弹簧、钩码（50g）、刻度尺以及铁架台（图3-2-6）

（1）弹簧弹力——钩码个数

器材中没有可以直接测量力的工具，但根据二力平衡的原理，当钩码静止时，弹簧弹力与钩码的重力大小相等。所以可以通过钩码重力而间接地获得弹簧弹力的大小。每个钩码的质量都是50g，因此只要在实验中记录钩码的个数就可以算出钩码的重力。

（2）弹簧伸长量——指针位置变化

从图3-2-6中可以看出，弹簧的伸长量x就等于两次指针位置读数的差值（x_1-x_0），其中x_0必须是弹簧处于原长时指针位置的读数。

由此可见实验中直接测量的物理量并不是弹簧的伸长量，而是指针的位置，如图3-2-7所示。

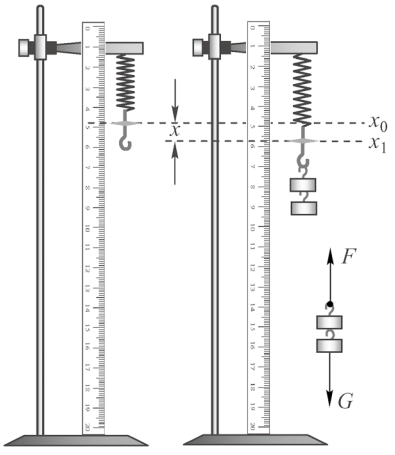


图3-2-6

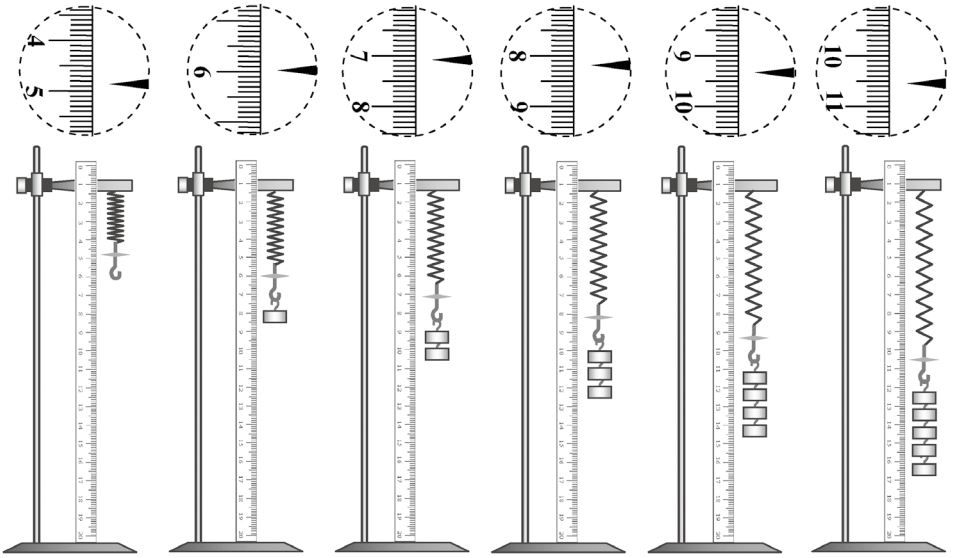


图3-2-7

标签5

2. 会根据直接测量量和间接测量量设计记录数据的表格

会实验

“弹簧弹力”和“伸长量”是今天实验中最重要的物理量，由于无法通过直接测量获得，所以它们是**间接测量量**。

与“弹簧弹力”“伸长量”相对应的是“钩码的个数”以及“弹簧指针位置”这两个物理量，它们可以通过实验直接测量而获得，所以它们是**直接测量量**。

一个优秀的数据表格应该包含**直接测量量和间接测量量**，为实验过程中记录数据和处理数据提供方便。

根据图3-2-6和3-2-7将实验的数据填入表3-2-1当中。

表3-2-1

钩码个数/个	单个钩码质量/kg	弹力大小/N	指针位置/cm	伸长量/cm
	0.05			
	0.05			
	0.05			
	0.05			
	0.05			
	0.05			

3. 会利用图像探究物理量之间存在的关系

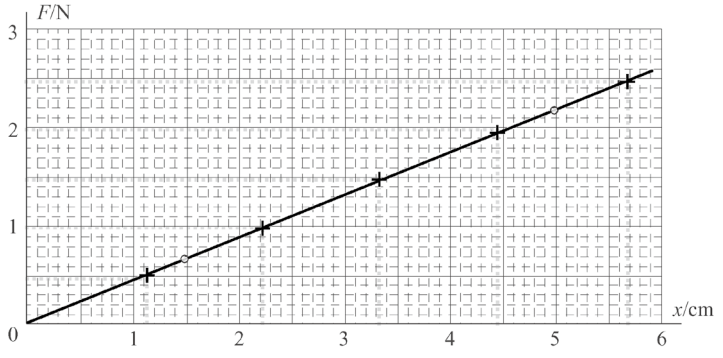
会实验　标签6

为了提高测量结果的准确性和可信度，一个实验需要进行多次测量，而大量的测量结果又增加数据分析的难度。为了解决这个问题，科学家用描点连线的方法将两个或多个物理量绘制在直角坐标系中，这样就把物理量之间的联系清晰地展现了出来，降低了数据分析的难度。

通过上面的实验，我们获得了6组数据，我们就利用绘制图像方法来找到弹簧弹力和伸长量之间的关系。

【例题3】

请根据表3-2-1，利用绘制图像的方法找到弹簧弹力和伸长量之间的关系

思维操作	解答过程
建坐标轴	（1）定轴：伸长量x是自变量，弹力F是因变量，故伸长量x为横轴，弹力F为纵轴 （2）定单位：因为伸长量x最大值为5.56cm，所以设横轴的最大值为6cm，最小单位为0.1cm；弹力F的最大值为2.45N，所以设纵轴的最大值为3N，最小单位为0.1N
描点	（3）描点：根据表3-2-1的数据进行描点
连线	（4）连线：描点后，我们发现5个点基本上都在一条直线上，据此可以推断弹簧弹力与伸长量之间存在线性关系（一次函数），因此我们不再画点到点的折线图，而要画出一条能使5个点迹均匀地分布两侧的直线
寻规律	（5）寻规律：根据实验数据所绘制的图像是一条过原点的直线，由此我们推断弹簧弹力与伸长量满足正比例关系。即$F=kx$，k是比例常数，也就是图像中直线的斜率。 在直线上重新取点（两个圆圈），计算斜率如下 $$k=\frac{F_2-F_1}{x_2-x_1}=\frac{2.15-0.65}{5.0-1.5}\text{N/cm}=0.429\text{N/cm}=42.9\text{N/m}$$ 
会操作	根据实验数据绘制图像是发现物理规律的重要方法。按照“轴、点、线”的顺序就可以帮助你绘制出能反映物理规律的图像

根据上面“会实验”的三大步操作，我们找到了弹簧弹力大小和弹簧形变量大小的关系，即**弹簧的弹力F跟弹簧的伸长量x成正比**。

$$F=kx$$

这个规律最早是英国科学家胡克通过实验发现的，被称为**胡克定律**。

会说话

把k=42.9N/m的含义，对你的老师、同学或自己说一遍

式中的k被称为弹簧的**劲度系数**，单位为“牛顿每米”，单位符号“N/m”。其含义是弹簧每伸长（或缩短）1m所产生的弹力大小。如k=42.9N/m，则说明此弹簧每伸长（或缩短）1m时产生42.9N的弹力。

我的训练营

1. 画出A物体受到的所有弹力。

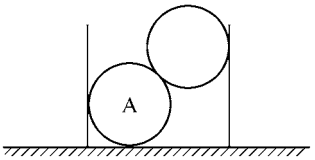


图3-2-8

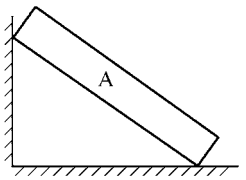


图3-2-9

2. 某弹簧的劲度系数为500N/m，原长为25cm，现将其一端固定于天花板上，对另一端施加100N的拉力，求此时弹簧的长度是多少？

3. 一个弹簧的原长为8cm，现在用一个4N的外力来压缩弹簧，此时弹簧的长度变为6cm，那么，该弹簧的劲度系数为多少？若用一个2N的力来拉弹簧，弹簧的长度变为多少？（先画图，将几个长度标在图上，然后再计算）

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

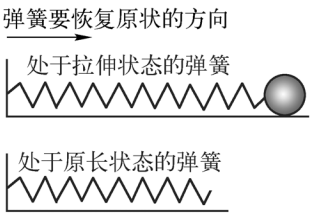
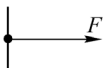
方法的形成

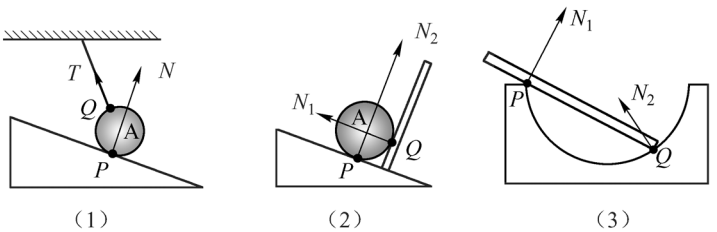
★

指导篇

一、参考答案

反馈题答案

【反馈1】	
思维过程	解答过程
研究对象	弹簧（因为墙面受到的弹力是弹簧给的，所以应该研究弹簧的弹性形变）
情境图	
适用规律	弹力方向一定与发生弹性形变的物体要恢复原状的方向一致
分析结果	因为弹簧处于拉伸状态，所以弹簧的左端恢复原状的方向是向右，因此墙壁受到向右的拉力作用 

【反馈2】	
思维过程	解答过程
研究对象	A物体
情境图	
适用规律	弹力方向一定与产生弹力的物体要恢复原状的方向一致 拉力一定沿绳子或弹簧收缩的方向 支持力和压力一定垂直于接触面
分析结果	图（1）中，P点支持力垂直于斜面和球面；Q点拉力沿绳子收缩方向 图（2）中，P点支持力垂直于斜面和球面；Q点支持力垂直于挡板和球面 图（3）中，P点支持力垂直于直杆的侧面；Q点支持力垂直于凹槽的圆面

行文补丁

表3-2-2 （此表为3-2-1的答案）

钩码个数/个	单个钩码质量/kg	弹力大小/N	指针位置/cm	伸长量/cm
0	0.05	0	4.87	
1	0.05	0.49	6.00	1.13
2	0.05	0.98	7.10	2.23
3	0.05	1.47	8.20	3.33
4	0.05	1.96	9.35	4.48
5	0.05	2.45	10.57	5.70

训练营答案

1．画出A物体受到的所有弹力

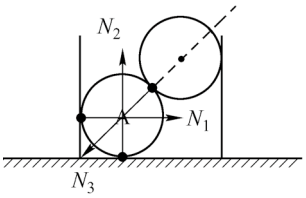


图3-2-10

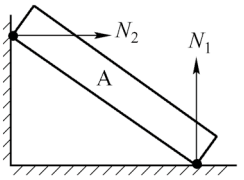


图3-2-11

2．45cm

3．由胡克定律 $F_1 = kx_1 = k(L_0 - L_1)$ 可得

$$k = \frac{F_1}{L_0 - L_1} = \frac{4}{0.02} = 200\text{N/m}$$

又 $F_2 = kx_2 = k(L_2 - L_0)$，可得

$$L_2 = L_0 + \frac{F_2}{K} = 0.08 + \frac{2}{200} = 9\text{cm}$$

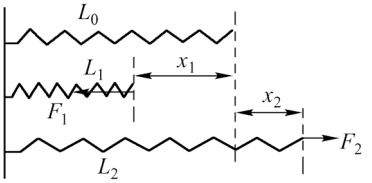


图3-2-12

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 弹性形变：可以恢复原状的形变；范性形变：不能恢复原状的形变

★ 弹力产生的原因：发生了弹性形变的物体有恢复原状的能力就体现为两个接触物体间的弹力作用 标签1

★ 弹力产生的方向：“**一定与产生弹力的物体要恢复原状的方向一致**”，在此基础上拉力、支持力和压力的方向还有各自的规律：**拉力一定沿绳子或弹簧收缩的方向；支持力和压力一定垂直于接触面** 标签2 标签3

方法的形成

★ 会实验

会根据实验目的和实验器材确定需要直接测量的物理量 标签4

会根据直接测量和间接测量量设计记录数据的表格 标签5

会利用图像探究物理量之间存在的关系　标签6

三、点拨与提高



图3-2-13

人物介绍：罗伯特·胡克（图3-2-13）

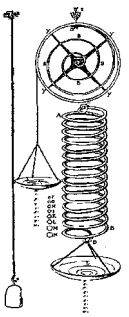
英国物理学家、天文学家。1635年7月18 日生于威特岛的弗雷施瓦特。1703年3月3日逝世于伦敦，终年68岁。

胡克是17世纪英国最杰出的科学家之一。他在力学、光学、天文学等多方面都有重大成就。

在光学方面，胡克是光的波动说的支持者。1655年，胡克提出了光的波动说，他认为光的传播与水波的传播相似。1672年胡克进一步提出了光波是横波的概念。在光学研究中，胡克更主要的工作是进行了大量的光学实验，特别是致力于光学仪器的创制。他制作或发明了显微镜、望远镜等多种光学仪器。他曾用自己制造的望远镜观测了火星的运动，用自己制造的显微镜观察植物组织，于1665年发现了植物细胞（实际上看到的是细胞壁），并命名为“cell”，至今仍被使用。

胡克在力学方面的贡献尤为卓著。他在1679年给牛顿的信中正式提出了引力与距离平方成反比的观点，但由于缺乏数学手段，还没有得出定量的表示。

胡克定律（弹性定律），是胡克最重要发现之一，也是力学的最重要基本定律之一。胡克定律指出：“在弹性限度内，弹簧的弹力f和弹簧的长度变化量x成正比，即$f = -kx$。k是物质的弹性系数，它由材料的性质所决定，负号表示弹簧所产生的弹力与其伸长（或压缩）的方向相反。”为了证实这一事实，胡克曾做了大量实验，包括各种材料所构成的各种形状的弹性体。如图3-2-14所示。



胡克的弹性实验

在力学的应用中，弹性定律占有重要地位。弹性定律是1678年首先由胡克提出的

图3-2-14

参考资料：http://zhidao.baidu.com/question/9741760.html?fr=qrl&cid=202&index=1

第三节　摩 擦 力

体验篇

艾爷爷:“如果大家关心汽车的知识，或经常观看F1赛车运动，你们会经常听到‘轮胎抓地力’这个词，大家知道这是什么意思吗？”



图3-3-1

http://auto.jxnews.com.cn/system/2009/03/03/011039419.shtml

阿牛:“这个我了解！就是轮胎与地面的摩擦力。”

艾爷爷:“阿牛给大家介绍一下吧！”

阿牛:“轮胎表面的花纹是根据赛道表面的情况来决定的。当赛道表面是干燥的的时候，F1赛车都选用完全平面的轮胎（俗称“光头胎”），这样轮胎与地面接触面积最大，能创造最好的抓地力。当赛道表面有水的时候，轮胎表面就必须有坑纹，让轮胎和地面之间的水通过这些坑纹排出，这也是为什么普通汽车的轮胎表面都有坑纹的原因——天总不可能一直不下雨吧！”

（以上文字参考网站http://www.lvtou.com/bbs/thread-222868-1-1.html）

学习篇

一、从小实验来认识摩擦力的大小

1. 静摩擦力的大小

如图3-3-2所示在水平桌面上放置一个木块，木块与弹簧测力计相连，并逐渐增加弹簧测力计的拉力。

标签1

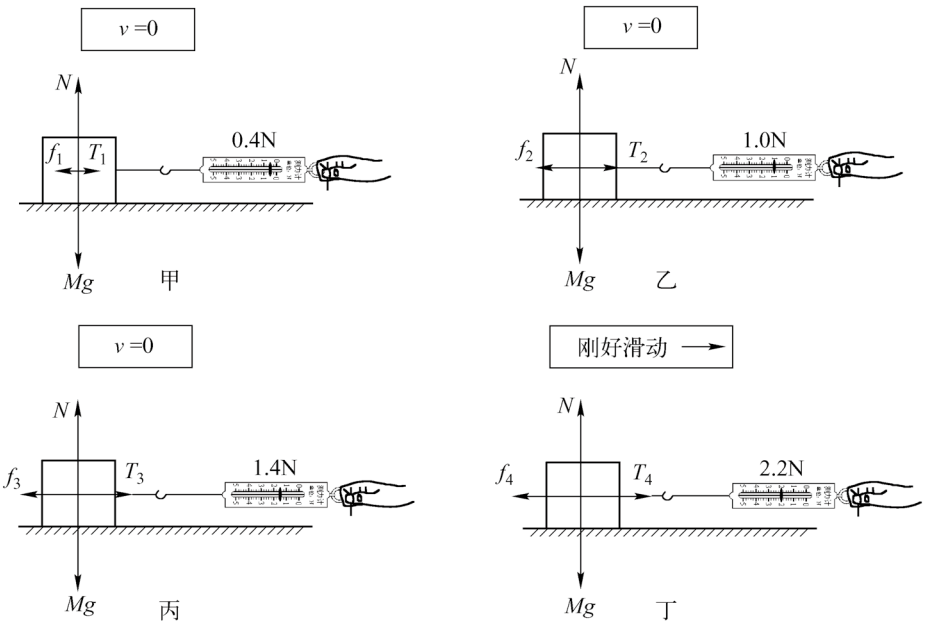


图3-3-2

根据二力平衡的知识，从上面的四个图可以看出，静摩擦力是随着弹簧测力计的拉力增加而同步增加的，直到一定的限度，这个限度被称为**最大静摩擦力**，一般用f_{max}表示。也就是说，**静摩擦力的大小是在0到f_{max}之间的某个值**，这个值的大小与物体受到的外力，以及物体的运动情况有关。

当拉力超过了最大静摩擦力f_{max}，物体受到的静摩擦力就变为了滑动摩擦力。

2. 滑动摩擦力的大小

为了继续利用二力平衡的知识讨论滑动摩擦力的大小，艾爷爷设计了这样的实验，如图3-3-3所示。由于木块和下面薄板之间存在着相对运动，木块现在受到的是滑动摩擦力。因为，在拉动薄板时木块始终保持静止状态，所以，根据二力平衡的原理，滑动摩擦力的大小依然与弹簧测力计的读数相等。这样我们就可以通过这套装置测量滑动摩擦力的大小。

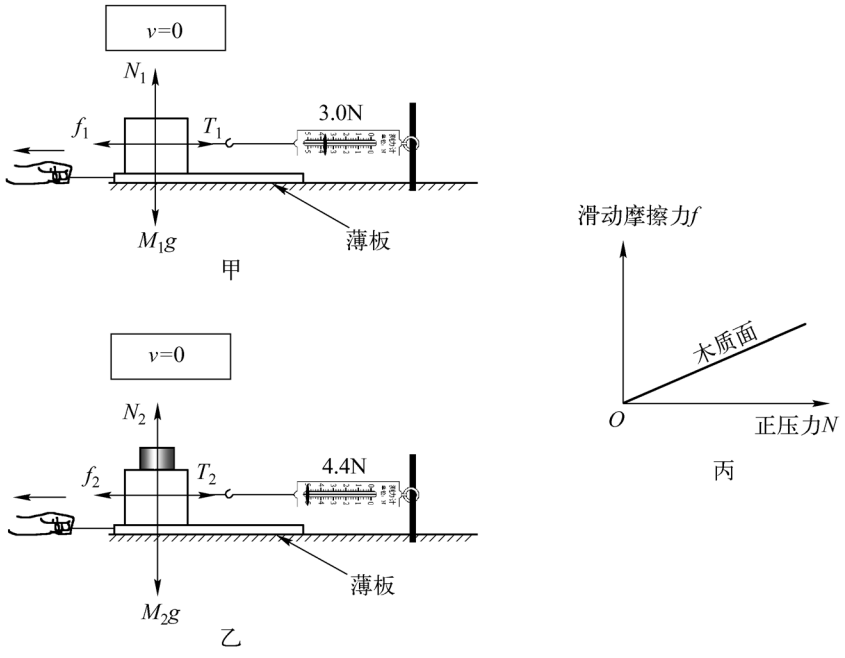


图3-3-3

经过大量实验发现，在不改变木块和薄板的材料的前提下，只有改变木块和薄板之间的压力才能引起滑动摩擦力大小的变化。如图3-3-3的甲图和乙图，在木块上放置不同质量的重物，这样就改变了木块和薄板之间的正压力。经多组测量最后就获得了图3-3-3的丙图。它说明**滑动摩擦力的大小与压力成正比。**

阿牛：“艾爷爷，滑动摩擦力和正压力图像的斜率是由什么决定的呢？”

艾爷爷：“这个问题问得好！如果在薄板上面贴一层砂纸，再重复图3-3-3的实验，看看会有什么样的结果。”

在薄板上贴上砂纸后，重复图3-3-3的实验，并将采集到的数据与上一次的数据都绘制在一个图像当中，我们就得到了图3-3-4。由此可见**滑动摩擦力-正压力图像的斜率是由接触面的材料所决定的。**

大量的实验表明，**滑动摩擦力的大小与压力成正比**。数学表达式为

$$f=\mu N$$

式中的比例系数μ，叫做**动摩擦因数**，它没有单位，它的大小跟相互接触的两个物体的材料、以及接触面的粗糙程度有关。

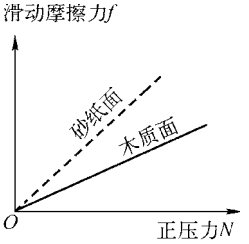


图3-3-4

机灵鬼：“不对呀！阿牛开始说F1赛车的光头胎接触面积最大，抓地性能好。光头胎光滑，相对有花纹的轮胎应该动摩擦因数小啊，为什么它的抓地性能反而好呢?

阿牛：“对不起，刚才我忘记介绍了。F1赛车的光头胎都是热熔胎，轮胎在一定温度下会‘融化’，产生类似胶水一样的效果，‘粘’在地面上，摩擦因数很大，可以产生巨大的抓地力，它的性能不是普通轮胎可比的！”

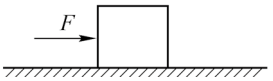
【例题1】

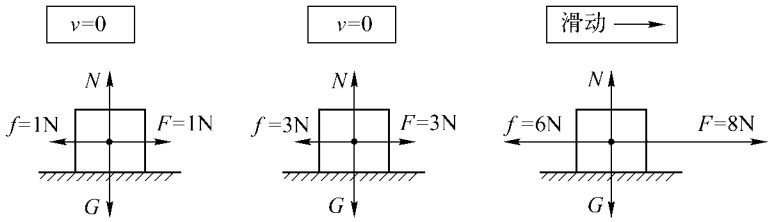
在水平地面上放置一个质量为1kg的木块，木块与地面的动摩擦因数为0.6。现给木块一个水平向右的推力F作用。（认为最大静摩擦力与滑动摩擦力的大小相等，$g=10\text{m/s}^2$）。求

（1）当F=1N时，物体受到的摩擦力大小和方向

（2）当F=3N时，物体受到的摩擦力大小和方向

（3）当F=8N时，物体受到的摩擦力大小和方向



思维过程	解答过程
研究对象	木块
情境图	
适用规律	静摩擦力的大小在0到f_{max}之间，具体值取决于推力F的大小 滑动摩擦力的大小$f=\mu N$
分析结果	根据二力平衡，在竖直方向有$N=mg=10\text{N}$，所以$f_{滑}=\mu N=\mu mg=6\text{N}$ （1）当推力F=1N小于最大静摩擦力$f_{max}=f_{滑}$=6N时，物体与地面保持静止，根据二力平衡，此时物体受到的摩擦力大小为1N，方向水平向左 （2）同（1），当F=3N时，物体受到的摩擦力大小为3N，方向水平向左 （3）当推力F=8N大于最大静摩擦力$f_{max}=f_{滑}$=6N时，物体相对地面开始滑动，此时物体受到的是滑动摩擦力，大小为6N，方向水平向左
会操作	会根据静摩擦力的规律和滑动摩擦力的规律分析实际问题中摩擦力的大小

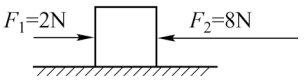
【反馈1】

如下图所示，一木块放置在水平地面上，最初在水平作用力F_1和F_2的共同作用下保持静止状态。

（1）求静摩擦力的大小

（2）若撤去F_2，物体受到的是什么摩擦力，大小为多少

（3）若撤去F_1，物体受到的是什么摩擦力，大小为多少



思维过程	解答过程
研究对象	
情境图	
适用规律	
分析结果	

二、从“相对”二字认识摩擦力的方向

1. 滑动摩擦力的方向



艾爷爷：“在图3-3-5中，我们可以利用二力平衡的原理确定木块受到了向左的滑动摩擦力。但如果物体不处于平衡态，那我们该如何判断物体受到的滑动摩擦力方向呢？”

小芳：“？？？”

艾爷爷：“其实还有一个普遍适用的判断方法：**滑动摩擦力的方向总与物体相对运动方向相反。**”

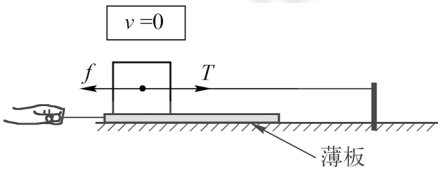
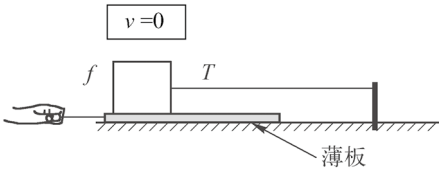
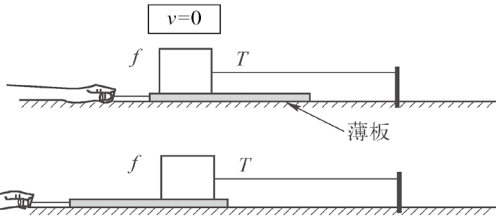
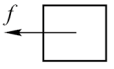


图3-3-5

【例题2】

请用“滑动摩擦力的方向总与物体相对运动方向相反”这句话判断图中在将薄板水平拉出的过程中木块受到的滑动摩擦力的方向

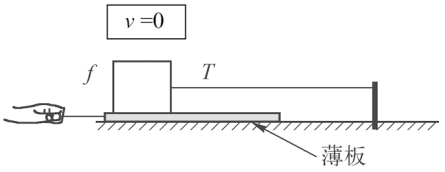


思维过程	解答过程
研究对象	木块
情境图	
适用规律	滑动摩擦力的方向总与物体相对运动方向相反
特定条件	因为木块相对于薄板水平向右运动
分析结果	所以木块受到的滑动摩擦力方向是水平向左的 
会操作	会按照“适用规律”→“特定条件”→“分析结果”的思维过程分析滑动摩擦力的方向

标签3

【反馈2】

请用“滑动摩擦力的方向总与物体相对运动方向相反”这句话判断图中在将薄板水平拉出的过程中薄板受到的滑动摩擦力的方向



思维过程	解答过程
研究对象	
情境图	

续表

适用规律	
特定条件	
分析结果	

2. 静摩擦力的方向

小芳：“依据这个道理，判断静摩擦力的方向也应该有一个普遍适用的规律呀！”

艾爷爷：“正确！**静摩擦力的方向总是与物体的相对运动趋势方向相反**。这就是判断静摩擦力方向普遍适用的规律。”

小芳：“相对运动趋势方向是什么意思？”

艾爷爷：“相对运动趋势方向，就是将要发生相对滑动的方向。举个例子，如图3-3-6所示，用力推一个箱子，虽然箱子没有动，但我们都知道如果人继续增加推力或地面突然变得光滑，箱子就会向右滑出去。这个将要发生相对滑动的方向就叫做**相对运动趋势的方向**。”

假设地面光滑，就可以知道箱子的相对运动趋势方向

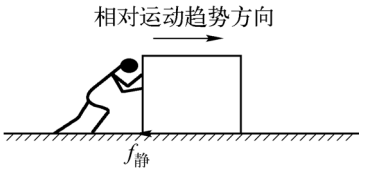


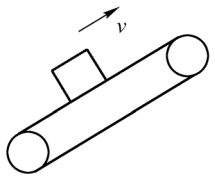
图3-3-6

小芳：“艾爷爷，就是说**假设接触面光滑**后，箱子的相对地面的滑动方向就是在不光滑时箱子相对于地面的运动趋势方向。”

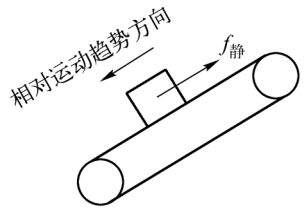
艾爷爷：“完全正确！”

【例题3】

请用“**静摩擦力的方向总是与物体的相对运动趋势方向相反**”这条规律判断工件受到的静摩擦力方向



工件相对传送带静止

思维操作	解答过程
研究对象	木块
情境图	 工件相对传送带静止

续表

标签4

适用规律	静摩擦力的方向总是与物体的相对运动趋势方向相反
特定条件	假设传送带光滑，工件就不会随着传送带一起向上运动，而最终会相对传送带向下滑动。所以工件具有相对传送带斜向下的运动趋势方向
分析结果	工件受到的静摩擦力方向是沿传送带斜向上的
会操作	会按照“适用规律”→“特定条件”→“分析结果”的思维过程分析静摩擦力的方向

【反馈3】

一个人抓住电线杆静止不动，请用“**静摩擦力的方向总是与物体的相对运动趋势方向相反**”这条规律判断这个人受到的静摩擦力方向



思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
适用规律	
特定条件	
分析结果	

艾爷爷：“前面大家学习了运动学的知识，这一章我们学习了力学的知识，不知大家是否感受到了按照规律思考问题的乐趣！判断静摩擦力和滑动摩擦力的方向就是按照物理规律思考问题的典型例子。”

我的训练营

1. 用水平力推一静止在水平地面上的木箱，若没能推动，那么（　）

A．此时所施加的推力小于物体受到的静摩擦力

B．此时所施加的推力等于物体受到的静摩擦力

C．此时所施加的推力小于物体与地面间的最大静摩擦力

D．此时所施加的推力大于物体与地面间的最大静摩擦力

2．若以下情境中（图3-3-7）表面都不光滑，请画出物体A所受各个力，若有摩擦力的请标明是什么摩擦力。

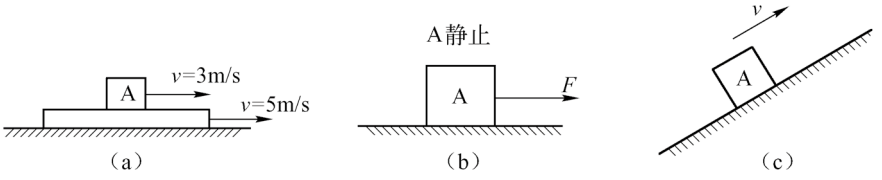


图3-3-7

3．质量为2 kg的物体放在水平地板上，用一轻弹簧水平拉该物体，当物体刚开始运动时，弹簧伸长了2.2 cm，当拉着物体前进时，弹簧伸长2 cm，已知弹簧的劲度系数为k=200 N/m，（g=10 N/kg），求：

（1）物体所受的最大静摩擦力为多少?

（2）物体和地板间的动摩擦因数。

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

★

方法的形成

★

★

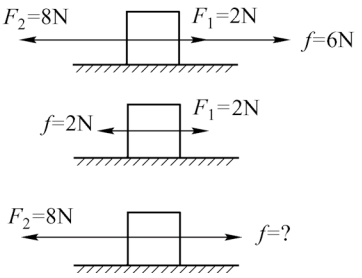
指导篇

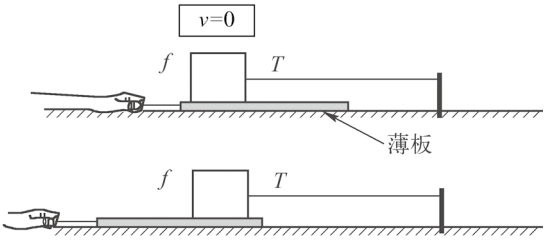
一、参考答案

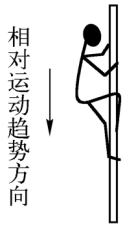
反馈题答案

【反馈1】	
思维过程	解答过程
研究对象	木块

续表

情境图	
适用规律	静摩擦力的大小在0到f_{max}之间，具体值取决于推力F的大小 滑动摩擦力的大小$f=\mu N$
分析结果	（1）根据题目的描述，最初木块处于静止状态。因F_1和F_2的合力不为零，所以木块应受到地面的静摩擦力，其大小$f=F_2-F_1=6$N，方向水平向右 （2）从（1）中可知，物体与地面间的最大静摩擦力f_{max}一定大于或等于6N。所以当撤去F_2后，木块仅在F_1=2N的作用下仍处于静止状态。此时静摩擦力的大小$f=F_1$=2N，方向水平向左 （3）因为此题只知道$f_{max}\geqslant$6N，却不知具体数值。所以此问有两种情况：第一种情况，若$f_{max}\geqslant$8N，木块仍处于静止状态，受到大小为$f=F_2$=8N的静摩擦力作用；第二种情况，若6N$\leqslant f_{max}<$8N，木块将发生滑动，由于题目中的条件不足，所以我们无法确定滑动摩擦力的大小

【反馈2】	
思维过程	解答过程
研究对象	薄板
情境图	
适用规律	滑动摩擦力的方向总与物体相对运动方向相反
特定条件	因为薄板相对于木块水平向左运动
分析结果	所以薄板受到的滑动摩擦力方向是水平向右的 

【反馈3】	
思维操作	解答过程
研究对象	人
情境图	
适用规律	静摩擦力的方向总是与物体的相对运动趋势方向相反
特定条件	假设电线杆光滑，人将相对于电线杆向下滑动。所以不光滑时人具有相对于电线杆向下的运动趋势方向
分析结果	人受到的静摩擦力方向竖直向上 

训练营答案

1．BC

2．物体A受力情况如图3-3-8所示。

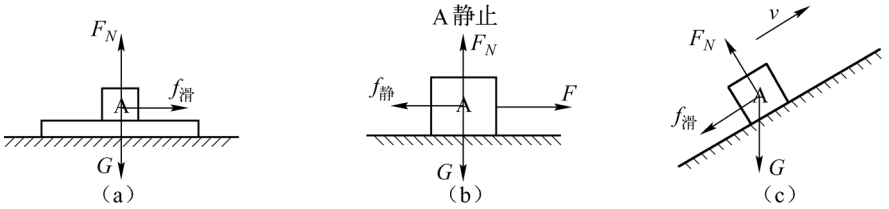


图3-3-8

3.（1）根据胡克定律，$F=kx$，当弹簧伸长2.2cm时，弹簧的拉力为4.4 N；弹簧伸长2 cm时，弹簧的拉力为4 N。再由平衡的知识，可得物体所受的最大静摩擦力为6 N。

（2）滑动摩擦力为F_f=4 N，正压力F_N=G=20 N，所以动摩擦因数$\mu=F_f/F_N$=0.2。

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 静摩擦力大小：是0到f_{max}之间的某个值　标签1

★ 静摩擦力方向：总是与物体的相对运动趋势方向相反

★ 滑动摩擦力大小：滑动摩擦力的大小与压力成正比，数学表达式为 $f=\mu N$　标签2

★ 滑动摩擦力方向：总是与物体的相对运动方向相反

方法的形成

标签3 ★ 会按照“适用规律”→“特定条件”→“分析结果”的思维过程分析静摩擦力的方向

标签4 ★ 会按照“适用规律”→“特定条件”→“分析结果”的思维过程分析滑动摩擦力的方向

三、点拨与提高

ABS防抱死系统简介

汽车轮胎转动时，轮胎与地面间没有相对滑动，也就是说汽车的加速、减速、转弯都是依靠静摩擦力实现的。但在高速行驶、或在雪地上行驶时，如果司机遇到紧急情况一脚把刹车踩到底，汽车的轮子就会立刻停止转动（所谓的“轮胎抱死”），轮胎与地面就变为了滑动摩擦，这时汽车就会沿初速度方向滑行，而失去了转弯的能力，这是非常危险的，如图3-3-9所示。

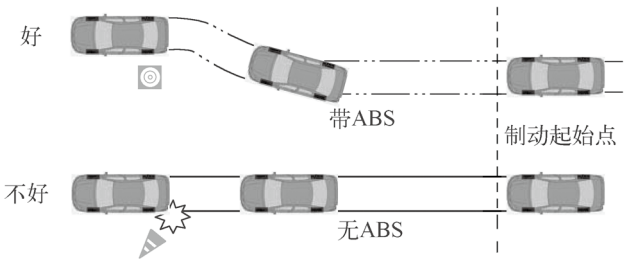


图3-3-9

人民网 汽车频道 auto.people.com.cn

而所谓的“ABS防抱死”系统，就是为了防止紧急刹车时发生轮胎抱死，不让轮胎停止转动的装置。我国绝大部分轿车已经将ABS作为标准配置。

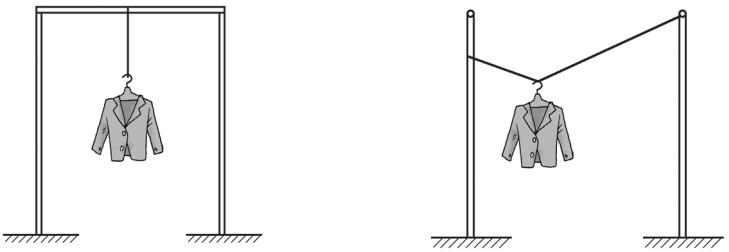
ABS可以安装在任何一辆带液压刹车的汽车上，紧急制动时，依靠装在各车轮上高灵敏度的车轮转速传感器，一旦发现某个车轮抱死，计算机立即控制压力调节器使该轮的制动分泵泄压，使车轮恢复转动，达到防止车轮抱死的目的。它的工作过程实际上是“抱死—松开—抱死—松开”的循环工作过程，每秒刹车6～25次，使车辆始终处于临界抱死的间隙滚动状态，有效克服紧急制动时由车轮抱死产生的车辆跑偏现象，防止车身失控等情况的发生。

（以上文字参考网站http://www.ieche.com/auto_industry/changshangzixun/2008-7-4/47B9H3JI3GGC.shtml）

第四节　力的合成与分解

体验篇

艾爷爷：“用两种方式挂同一件静止的衣服（如图3-4-1甲和图3-4-1乙），说说你获得了哪些信息？”

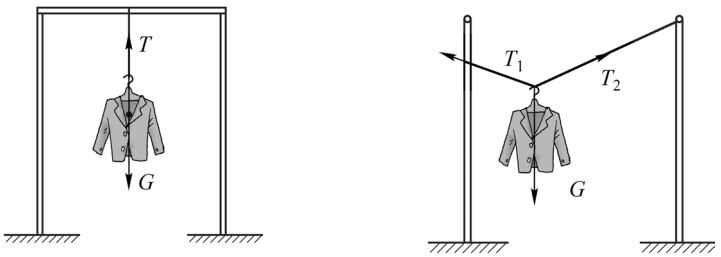


甲　　乙

图3-4-1

小芳：“都是挂衣服，只是方式不同。”

阿牛：“我补充一下，可以画受力分析图(图3-4-2甲和图3-4-2乙)，衣服都处于静止状态，甲图中它受到2个力，$G=T$。乙图中衣服受到3个力，具体的关系就不知道了。”



甲　　乙

图3-4-2

艾爷爷：“机灵鬼，你说呢？”

机灵鬼：“小芳说的是形式，阿牛用受力分析图，很好。”

艾爷爷：“小芳说的‘都是挂衣服’蕴涵了这两种方式对于挂衣服来说都可以达到目的，效果相同。阿牛的分析中蕴涵了高中分析问题的基础——画出情境图（受力图），甲图中衣服在两个力作用下处于平衡状态，乙图中衣服在多个力作用下处于平衡状态。T与T_1、T_2效果相同。想想生活中有哪些等效的例子？”

标签1

机灵鬼：“如果只考虑让静止的自行车动起来，而忽略速度的差异，图3-4-3中七个人骑和图3-4-4中两个人骑是等效的。”



图3-4-3

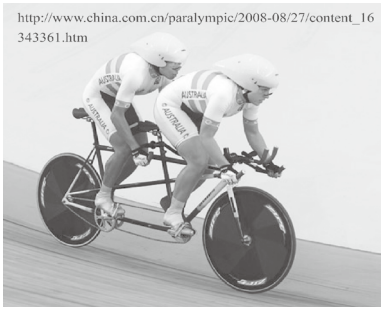


图3-4-4

学习篇

阿牛:“艾爷爷，为什么我们要了解力的等效思想？”

艾爷爷:“这样就为我们解决力学问题提供了方便。有些时候我们可以把几个力的作用效果当做一个力的作用效果来处理；有些时候我们也可以把一个力的作用效果当做几个力的作用效果来处理。”

如果几个力对物体共同作用的效果与一个力单独作用的效果相同，那么这一个力就叫做那几个力的合力，那几个力就叫做这一个力的分力。

小贴士

牛顿当年仅仅是从运动状态改变情况相等提出的“力的等效”思想。

一、力的合成

标签2

求几个力的合力叫做**力的合成**。

艾爷爷:“通过下面的小实验（如图3-4-5），我们来了解力的合成所遵循的规律。”

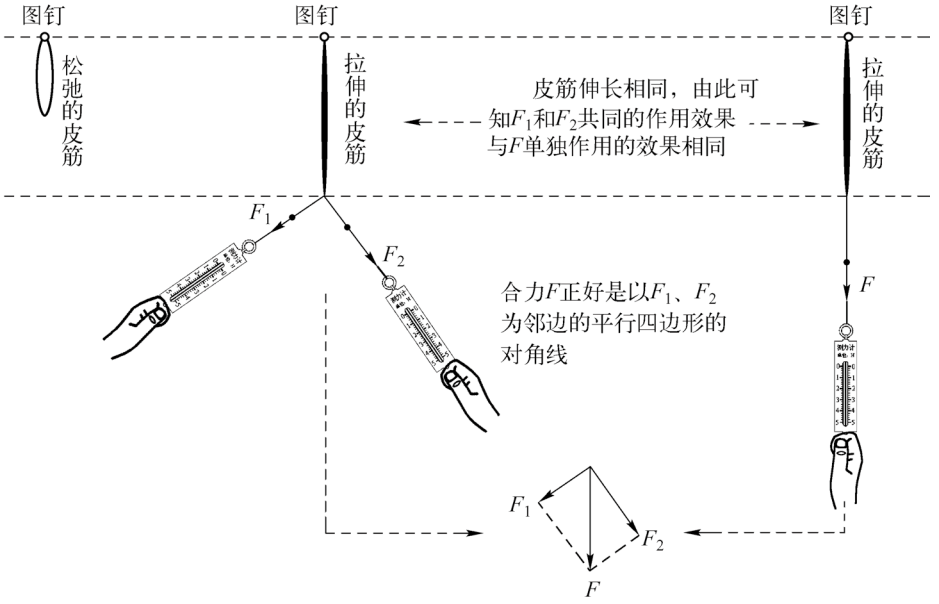


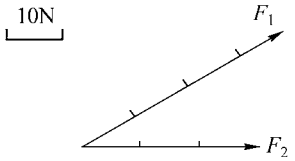
图3-4-5

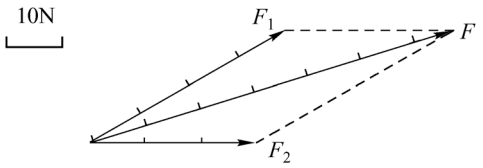
经过大量的实验发现：**以两个分力为邻边所画的平行四边形，其对角线正好代表了合力的大小和方向，这就是平行四边形定则。**

标签3

【例题1】

根据用力的图示法求出图中F_1=40N和F_2=30N的两个力的合力

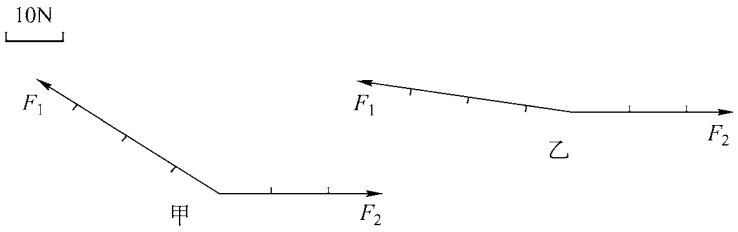


思维操作	解答过程
情境图	
适用规律	平行四边形定则
分析结果	F大小约等于66N，方向如情境图所示
会操作	会根据力的平行四边形定则和利用图示法绘制平行四边形来求两个力的合力

标签4

【反馈1】

根据用力的图示法求出图中F_1=40N和F_2=30N的两个力的合力



思维操作	解答过程
情境图	（提示：请画在题干的原图上）
适用规律	
分析结果	

从上面的例题和反馈题的结果可以看出，**两个大小确定的分力夹角越大，它们的合力就越小**。合力的最大值出现在两个分力同向时，合力的最小值出现在两个分力反向时，即

$$|F_1-F_2|\leqslant F_{合}\leqslant F_1+F_2$$

二、力的分解

标签5 求一个力的分力叫做**力的分解**。

艾爷爷:“今天我们换个方式画平行四边形。我先画出平行四边形的对角线，然后以这条对角线为基准画出平行四边形的四条边，你们会得到怎样的结果？”

阿牛:“我们试试！”

阿牛和小芳都画了起来，结果如图3-4-6所示。

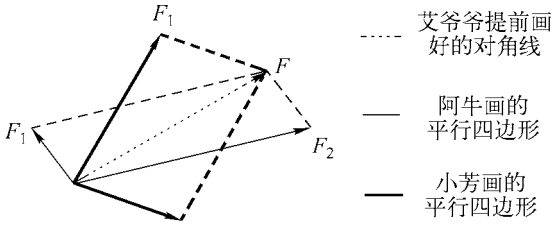


图3-4-6

小芳:“每个人画的都不一样，可以有无数种结果！”

艾爷爷:“没错，可以有无数种结果，所以力的分解应该有一定的依据，下面我们就来谈谈这个问题。”

1. 按照力的作用效果对力进行分解

利用下面这个实验，我们来看看如何根据力的作用效果对其进行分解。

对比图3-4-7的甲图和乙图可以看出，重力产生了两个效果。

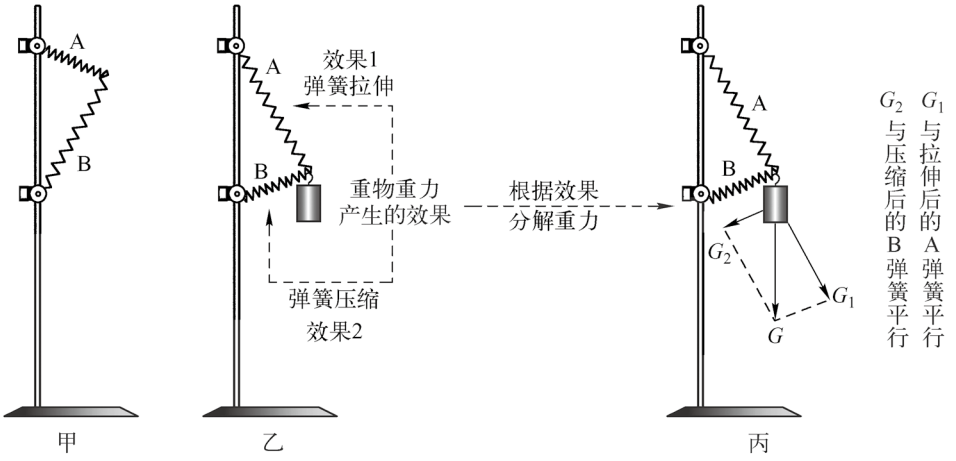


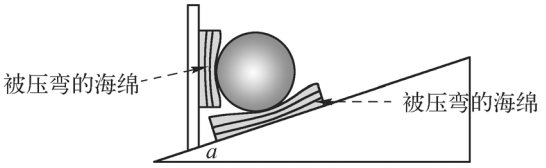
图3-4-7

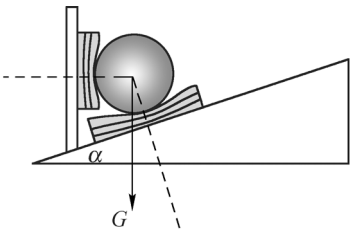
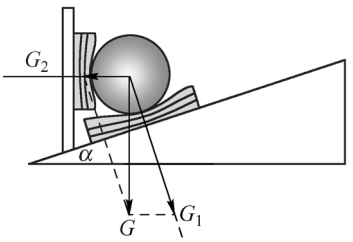
效果1：由于重力的作用，使重物将A弹簧拉伸了。所以我们可以将重力分解为一个与拉伸的A弹簧平行的分力G_1（如图3-4-7的丙图）。

效果2：由于重力的作用，使重物将B弹簧压缩了。所以我们可以将重力分解为另一个与压缩的B弹簧平行的分力G_2（如图3-4-7的丙图）。

【例题2】

请根据重力的作用效果，将质量为m的小球受到的重力进行分解，并写出每个分力的表达式

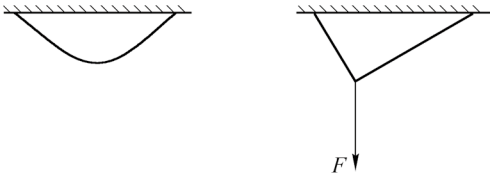


思维操作	解答过程
情境图	**会画图1**：根据力的作用效果确定分力的方向 会画图  **会画图2**：根据平行四边形确定分力的大小 
适用规律	平行四边形定则
分析结果	由海绵的变形效果可以看出，重力产生的效果 （1）使小球挤压竖直挡板 （2）使小球挤压斜面 根据这两个效果就把重力的一个分力G_1分解到垂直于斜面的方向；把另一个分力G_2分解到垂直于竖直挡板的方向。又因为G和G_2垂直，所以可以利用直角三角形的函数关系求得 $G_1=\frac{G}{\cos\alpha}=\frac{mg}{\cos\alpha}$；　$G_2=G\tan\alpha=mg\tan\alpha$

标签6

【反馈2】

甲图是吊在房顶的绳子，它处于松弛的状态。当抓住绳子上一点向下拉，就会出现把绳子拉紧而成为乙图的状态。请根据力的作用效果对拉力F进行分解



甲　　乙

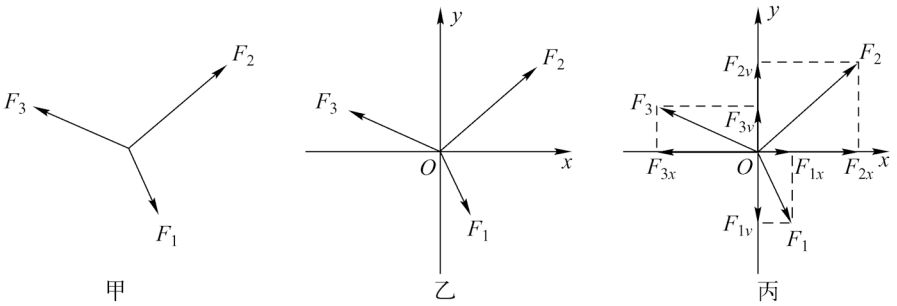
思维操作	解答过程
情境图	（提示：请画在题干的原图上）
适用规律	
分析结果	

艾爷爷：“根据力的作用效果进行分解是一个很重要的方法，但有时为了解决问题的方便，我们还可以采用另一种分解的方式——正交分解。”

2. 正交分解法

如图3-4-8的甲图所示，一个物体受到了多个作用力。对这些力进行正交分解，首先以力的作用点为原点建立一个直角坐标系，如图3-4-8的乙图所示；然后将不在坐标轴上的各个力分解到坐标系的两个坐标轴上，如图3-4-8的丙图所示。

标签7



甲　　乙　　丙

图3-4-8

将各个力进行正交分解后，我们就把矢量运算变成分别沿x轴和y轴进行的代数加减了，这样就大大降低了研究问题的复杂程度，在以后的学习中请大家细细体会正交分解法的优势。

我的训练营

1. 有两个大小恒定的力，作用在一点上，当两力同向时，合力为15N，反向时合力为7N，当两力相互垂直时，其合力大小为（　　）

A. 22 N　　B. $\sqrt{137}$N　　C. $\sqrt{176}$N　　D. $\sqrt{274}$N

2. 下列几组共点力分别作用在一个物体上，其合力有可能为零的是（　　）

A. 7 N，5 N，3 N　　B. 3 N，4 N，8 N

C. 4 N，10 N，5 N　　D. 4 N，12 N，8 N

3. 请根据物体重力mg产生的效果，将图3-4-9和图3-4-10中的重力进行分解，并求出分力的大小？

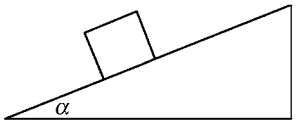


图3-4-9

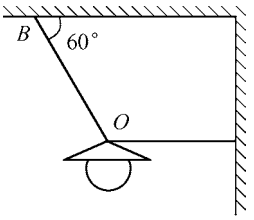


图3-4-10

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

★

方法的形成

★

★

★

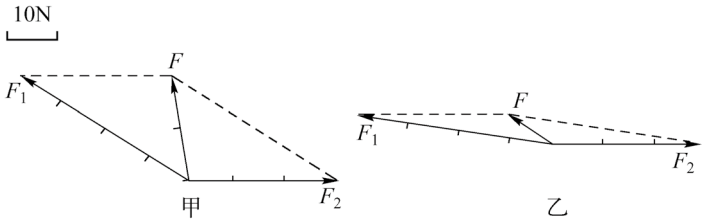
结构图

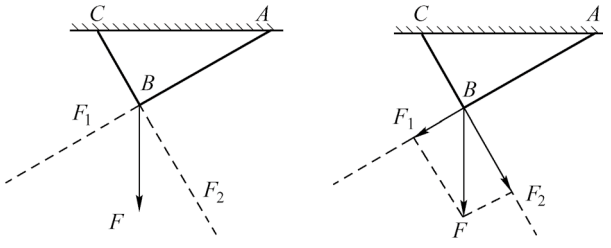
知识体系	思维操作
第三章知识结构图	

指导篇

一、参考答案

反馈题答案

【反馈1】	
思维操作	解答过程
情境图	
适用规律	平行四边形定则
分析结果	甲图：F大小约等于20N，方向如情境图甲所示 乙图：F大小约等于10N，方向如情境图乙所示

【反馈2】	
思维操作	解答过程
情境图	**会画图1**：根据力的作用效果确定分力的方向 **会画图2**：根据平行四边形确定分力的大小 
适用规律	平行四边形定则
分析结果	若把绳子分为AB和BC两段，拉力的效果是分别将AB和BC两段绳子拉直。所以我们把拉力分解为分别沿AB和BC两段绳子方向的分力

训练营答案

1．B。提示：求两个垂直力的合成，可以利用数学的勾股定理。

2．AD。举例：在7 N，5 N，3 N三个力中任选两个力。如7N和5N，利用力的合成规律可以判断它们的合力范围为[2N，12N]，这个范围包含了3N。也就是说当7N和5N的合力正好和3N这个力等大反向时，正好可以合力为零。

3．重力分解效果如图3-4-11和图3-4-12所示。

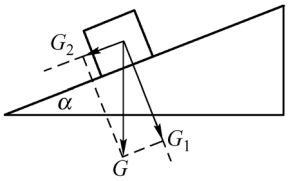


图3-4-11

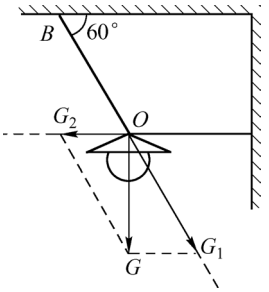


图3-4-12

在图3-4-11中：$G_1=mg\cos\alpha$，$G_2=mg\sin\alpha$。

在图3-4-12中：$G_1=\dfrac{mg}{\sin 60^\circ}=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}mg$，$G_2=\dfrac{mg}{\tan 60^\circ}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}mg$。

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 力的等效思想：当一个力和多个力使物体的形状改变、或运动状态改变的效果相同，我们就说这一个力与多个力等效 标签1

★ 力的合成：求几个力的合力 标签2

★ 力的分解：求一个力的分力 标签5

★ 平行四边形定则：以两个分力为邻边所画的平行四边形，其对角线正好代表了合力的大小和方向 标签3

方法的形成

★ 会根据平行四边形定则，利用力的图示法确定合力或分力大小 标签4

★ 会按照“先根据力的作用效果确定分力的方向”→“再根据平行四边形定则确定分力的大小”的方法对某个力进行分解 标签6

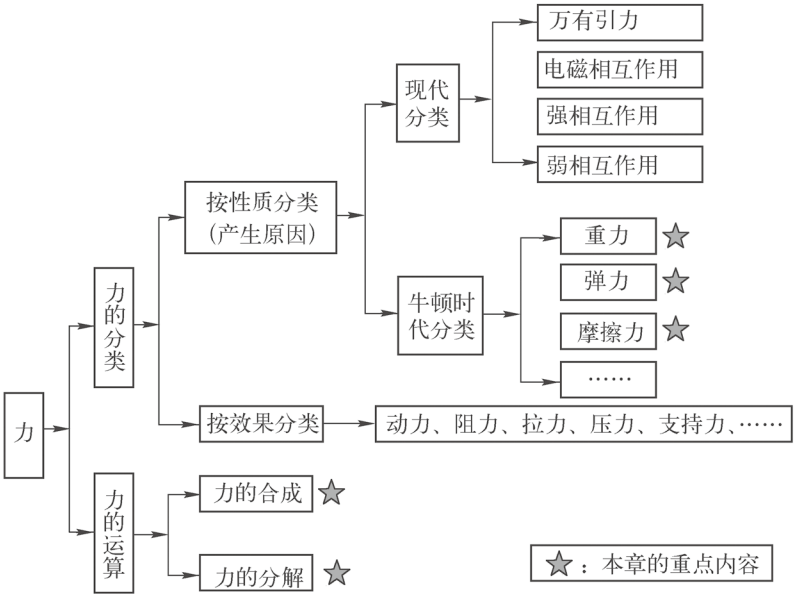
★ 会利用建立坐标系进行力的正交分解 标签7

结构图

知识体系

思维操作

第三章知识结构图



检测篇

一、检测题

1. 关于力的概念，下列说法正确的是（　）

A．只有相互接触的物体间，才有力的作用

B．重力的作用点一定在物体上

C．物体放在地秤上，地秤测的是地秤受到的压力

D．只要两个物体接触，它们之间就一定有弹力

2. 关于相互接触的两物体之间的弹力和摩擦力，下列说法正确的是（　）

A．有摩擦力一定有弹力

B．摩擦力的大小与弹力成正比

C．有弹力一定有摩擦力

D．弹力是动力，摩擦力是阻力

3. 关于合力和分力的关系，下列说法正确的是（　）

A．合力的作用效果与其分力共同作用效果相同

B．合力大小一定等于其分力的代数和

C．合力可能小于它的任一分力

D．两个分力的夹角不变，一个分力大小不变，若另一个分力增大，则合力一定增大

4. 关于两个大小不变的共点力与其合力的关系，下列说法正确的是（　）

A．合力大小随两力夹角增大而增大

B．合力的大小一定大于分力中最大者

C．两个分力夹角小于180°时，合力大小随夹角减小而增大

D．合力的大小不能小于分力中最小者

5. 将一个力F=10N分解为两个分力，已知一个分力的方向与F成30°角，另一个分力的大小为6 N，则在分解中（　）

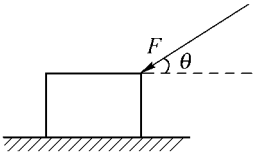
A．有无数组解　　B．有两解

C．有唯一解　　D．无解

6. 有两个大小相等的共点力F_1和F_2，当它们的夹角为90°时的合力为F，它们的夹角变为120°时，合力的大小为（　）

A．$2F$　　B．$\frac{\sqrt{2}}{2}F$　　C．$\sqrt{2}F$　　D．$\frac{\sqrt{3}}{2}F$

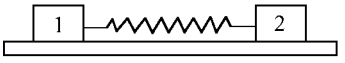
7. 如右图所示，一个重为G的木箱放在水平地面上，木箱与水平面间的动摩擦因数为μ，用一个与水平方向成θ角的推力F推动木箱沿地面做匀速直线运动，则地面受到的压力等于（　）



A．G　　B．$F\sin\theta+G$

C．$\frac{F\cos\theta}{\mu}$　　D．$F\sin\theta$

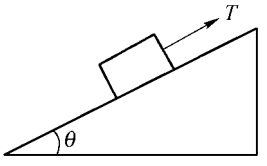
8. 如右图所示，在一粗糙水平面上有两个质量分别为m_1和m_2的木块1和2，中间用一原长为L，劲度系数为k的轻弹簧连接起来，木块与地面间的滑动摩擦因数为μ。现用一水平力向右拉木块2，当两木块一起匀速运动时两木块之间的距离是（　）



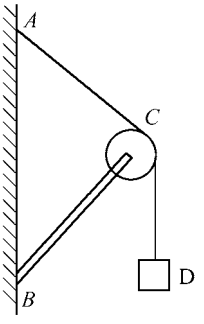
A．$L+\frac{\mu}{k}m_1g$　　B．$L+\frac{\mu}{k}(m_1+m_2)g$

C．$L+\frac{\mu}{k}m_2g$　　D．$L+\frac{\mu}{k}\left(\frac{m_1m_2}{m_1+m_2}\right)g$

9. 如右图所示，将一质量为m的物体放在斜面上，并沿斜面向上施加一个拉力T，为了使物体能在斜面上保持静止，所加拉力T的最小值为T_1，最大值为T_2，则物体受到的最大静摩擦力的大小为_____。



10. 如右图所示，硬杆BC一端固定在墙上的B点，另一端装有滑轮C，重物D用绳拴住通过滑轮固定于墙上的A点。若杆、滑轮及绳的质量和摩擦均不计，AC绳与竖直墙的夹角为60°，重物D的质量为m，则杆BC对绳的作用力大小为_____。



11．质量为2kg的物体放在水平地板上，用一轻弹簧水平拉该物体，当物体刚开始运动时，弹簧伸长了3cm，当拉着物体前进时，弹簧伸长2 cm，已知弹簧的劲度系数为k= 200 N/m，（g=10 N/kg），求：

（1）物体所受的最大静摩擦力为多少?

（2）物体和地板间的动摩擦因数。

二、检测题答案

1．C　　2．A　　3．AC　　4．C　　5．B　　6．B　　7．BC　　8．A

9．$\frac{T_2-T_1}{2T}$　　10．mg

11．（1）根据胡克定律，F=kx，当弹簧伸长3cm时，弹簧的拉力为6N；弹簧伸长 2cm时，弹簧的拉力为4N。再由平衡的知识，可得物体所受的最大静摩擦力为 6N

（2）滑动摩擦力F_f=4 N，正压力F_N =G=20 N，所以动摩擦因数$\mu=\frac{F_f}{F_N}=0.2$

Chapter 4

第四章　牛顿运动定律

学习指导语

我们在第二章的学习中，认识了一些物体运动的基本规律。在本章中，我们将一起认识物体的运动状态改变与受力情况之间的关系，建立力学中非常重要的三个基本定律——牛顿运动定律，掌握运用它分析和解决问题的一般方法。在学习的过程中，请你注意画好受力与运动分析图，明确加速度产生的原因。体会例题中提示的思维操作过程。希望你能对最后一节的“结构图”给予特别的关注。学好这一章，将为你的高中物理打下一个坚实的基础！

第一节　牛顿第一定律

体验篇



艾爷爷：“孩子们，你们认识这三个人吗？”艾爷爷指着悬挂在他办公室墙上的三幅肖像。

阿牛：“那是牛顿，这位是伽利略，还有……”。

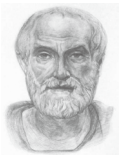
机灵鬼：“是亚里士多德吧？”

艾爷爷：“是的。在历史上，他们先后对力与运动的关系阐述了自己的观点，你们觉得亚里士多德说得对不对？”

小芳：“我觉得他说得对。比如，若要一辆静止在地面上的小车运动起来就需要用力推它，如果不推了，它就会慢慢停下来。”

艾爷爷：“那么，太空飞船在进入地球环绕轨道后不需要继续消耗燃料助推，就可以周而复始地绕地球飞行。这又该如何解释呢？”

三人无语……



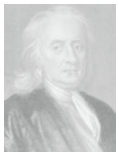
亚里士多德
前384—前332

物体的运动可以分为两类：一类是竖直下落的运动，这类运动不需要力的帮助就可以实现。重的物体下落得的比轻的物体快。另一类是水平方向的运动，这类运动必须依靠力来维持，没有了力，物体就不再运动，它们的“自然本性”是静止。



伽利略
1564—1642

我所做的实验告诉我，物体的轻重并不会影响下落的快慢。如果在完全光滑的理想条件下，物体一旦运动起来，就会永远运动下去。因此，在水平面运动中，外力停止作用后物体会静止下来，这并不是“自然本性”，而是因为接触面不光滑。



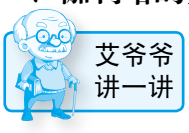
牛顿
1643—1727

一切物体总保持匀速直线运动或静止状态，除非作用在它上面的力迫使它改变这种状态。

天上的运动与地上的运动遵从同样的规律，大自然就像一只精确运转的时钟，一旦开启之后，就会按照一定的规律运转下去。因此，找到这种规律，就知道大自然的过去、现在和未来。

学习篇

一、伽利略的头脑实验



艾爷爷：“让我们一起来了解一下伽利略是如何思考的吧！”艾爷爷在一张纸上随手画了图4-1-1。

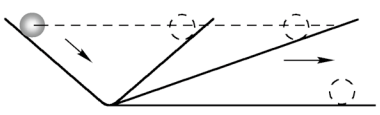


图4-1-1

伽利略设计了这样一个实验，如图4-1-1所示。将一只小球从左侧斜面上的某一高度释放，球会沿着左侧斜面下滑，运动逐渐加快。当小球滚上右侧斜面后，运动逐渐减慢，最终会到达接近原有高度的位置。通过对生活的

标签3

标签5

观察他知道，斜面越光滑，小球就越接近初始高度。所以他推断，如果没有摩擦，小球会回到原来的高度。接着伽利略提出这样的设想：如果减小右侧斜面倾角，小球仍然会回到原有的高度，这时小球就会运动得更远。伽利略进一步设想，如果将右侧斜面放平，将会发生什么？显然这时小球永远无法回到原来的高度，因此它将永远地运动下去。

标签4

伽利略的主张得到了同时代的法国科学家笛卡儿的支持和完善，他明确指出：除非物体受到力的作用，物体将永远保持其静止或原有运动状态，既不会停下来，也不会改变运动的方向。他还认为，这应该成为一个基本原理，是人类自然观的基础。

小贴士

伽利略虽然认识到亚里士多德的错误，但他的惯性定律是不完整、不彻底的。他认为，小球在水平面上只能是沿着地球表面永远地做圆运动。事实上，圆运动是必须受力的（参见第五章）。因此，牛顿第一定律才真正建立了正确的力与运动的关系。

二、惯性——牛顿第一定律

标签1

在伽利略和笛卡儿之后，牛顿总结了他们的研究成果，建立了动力学的一条基本定律：**一切物体总保持匀速直线运动或静止状态，除非作用在它上面的力迫使它改变这种状态**。牛顿第一定律表明，物体都具有保持原有匀速直线运动状态或静止状态的性质，我们把这种性质叫做**惯性**，因此牛顿第一定律又叫做**惯性定律**。

标签2

小芳：“这些内容我们在初中就学过了，为何再重复一次呢？”小芳不解地问道。

艾爷爷：“在初中，牛顿第一定律的表述提到过‘状态改变’吗？”。

小芳：“那么‘状态改变’究竟指的是什么呢？”。

艾爷爷：“让我们再来分析一下推小车的例子。”说着，艾爷爷给每人发了张纸然后画起来。

会画图

小车的受力与运动分析图（要标明受力，加速度，速度的方向）

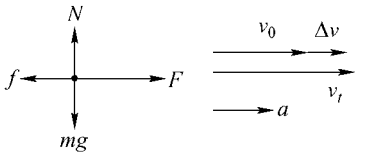


图4-1-2

艾爷爷：“小车被推动时合力不为零（即 $F-f\neq 0$），使它由静止变为运动并不断加速，产生速度变化量 Δv 和加速度 a，运动状态发生改变。所以力是使物体运动状态改变的原因，或者说力是产生加速度的原因。显然，不受力的物体我们在现实中是找不到的，这里所说的‘力’，在实际问题中指合力。而运动状态的改变就是速度的改变。”艾爷爷一边画图 4-1-2 一边说道。

标签6

机灵鬼：“速度的改变应该包括：_____ ① 改变或_____ ②改变，或者两者都在变，对吗？”。

艾爷爷：“是的，你们能否继续分析一下撤去推力后的过程。画出受力与运动分析图，并说明下面的问题。”

会画图

请画出受力与运动分析图

撤去推力后　　重新静止后

会说话

撤去推力后，为何小车会逐渐减速至停止？为何小车停止之后不再运动？

艾爷爷：“如果没有阻力的影响，小车运动起来后撤去推力，它将如何运动？”

阿牛：“小车合力为零，将做匀速直线运动，这也说明力不是维持物体运动的原因。”

艾爷爷：“整理一下，对比这三个阶段的情境图，会发现合力、速度变化量和加速度 a 三者的方向永远是一致的，且同时为零或同时不为零。而合力与速度的方向不一定相同，也不一定同时为零或不为零。这表明：合力决定速度变化量和加速度 a，而不直接决定速度”。

艾爷爷：“在我们的讨论中，已经体现了牛顿第一定律所要表达的三层含义。请大家在‘我的整理箱’中，用结构图的方式进行总结。”

【例题1】

列车沿东西方向做直线运动，车里桌面上有一小球，乘客看到小球突然沿桌面向东滚动，则列车可能是（　　）

A. 始终以很大的速度向西做匀速运动

B. 向西做减速运动

C. 向西做加速运动

D. 向东做减速运动

思维操作	解答过程			
依据	牛顿第一定律			
条件和分析	A	B	C	D
	初始时，车与小球均向西匀速运动，所以运动状态均未改变，仍然相对静止。小球不会相对车向东运动	初始时，车与小球均向西运动。车突然减速，小球不受水平外力作用，仍保持原有运动状态，即小球速度大于车速，所以小球相对车向西运动	初始时，车与小球均向西运动。车突然加速，小球不受水平外力作用，仍保持原有运动状态，即小球速度小于车速，所以小球相对车向东运动	初始时，车与小球均向东运动。车突然减速，小球不受水平外力作用，仍保持原有运动状态，即小球速度大于车速，所以小球相对车向东运动
结论	错误	错误	正确	正确
会说话	请将这个问题的每个选项以“依据、条件和分析、结论”的方式对你的老师、同学或自己说一遍			

【反馈1】

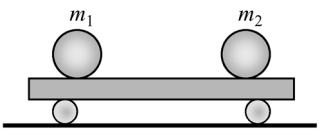
如右图所示，在一辆表面光滑的小车上，有质量分别为m_1、m_2的两个小球（$m_1>m_2$）随车一起匀速运动，当车突然停止时，如不考虑其他阻力，设车无限长，则两小球（　　）

A. 一定相碰

B. 一定不相碰

C. 不一定相碰

D. 难以确定是否相碰，因为不知小车的运动方向



思维操作	解答过程

续表

依据				
条件和分析	A	B	C	D
结论	A	B	C	D

三、惯性的量度

艾爷爷：“阿牛和机灵鬼，你们俩都喜欢打篮球吧。在发生身体对抗的时候，谁会比较占便宜？”

机灵鬼：“当然是他啦，每次总是把我撞得老远，而他好像没事一样。”

艾爷爷：“类似这样的现象还有很多，这说明什么呢？”

小芳：“好像质量越大的物体，若要改变它的运动状态就越困难。”

艾爷爷：“是的，物体不论是静止还是运动，不论运动状态是否改变，都具有抗拒运动状态改变的内在的固有属性。但是不同的物体这种本领的大小却是不同的，而决定这一本领大小的唯一因素就是质量。质量越大的物体，运动状态越难改变，惯性越大；质量越小的物体，运动状态越容易改变，惯性越小。所以，我们将**质量作为惯性大小的量度**。”

标签2

【例题2】

一切物体都有惯性，但是（　）

A. 运动时的惯性比静止时的惯性大

B. 运动越快，物体的惯性越大

C. 物体受力越大，惯性越大

D. 物体的质量不变，惯性就不会改变

思维操作	解答过程			
依据	质量是物体惯性大小的唯一量度			
条件和分析	A	B	C	D
	运动或静止不是惯性大小的量度	运动快慢不是惯性大小的量度	受力大小不是惯性大小的量度	质量的大小是惯性大小的量度
结论	错误	错误	错误	正确
会说话	请将这个问题的每个选项以“依据、条件和分析、结论”的方式对你的老师、同学或自己说一遍			

【反馈2】

关于惯性，下述说法正确的是（　　）

A. 同一汽车，速度越快，越难刹车，说明物体速度越大惯性越大

B. 静止的火车起动时速度变化缓慢，是因为物体静止时惯性大

C. 乒乓球可以快速抽杀，是因为乒乓球的惯性小的缘故

D. 已知物体在月球上的重力是地球上的1/6，故一个物体从地球移到月球惯性减小为1/6

思维操作	解答过程			
依据				
条件和分析	A	B	C	D
结论				



我的训练营

1．关于伽利略理想实验，下列认识正确的是（　　）

A．理想实验是不科学的假想实验

B．理想实验所得到的结论是不可靠的

C．理想实验是一种科学方法

D．牛顿第一定律描述的是一种理想化状态

2．伽利略的理想实验证明了（　　）

A．要物体运动必须有力作用，没有力作用物体将要静止

B．要物体静止必须有力作用，没有力作用物体就运动

C．物体不受外力作用时，一定处于静止状态

D．物体不受外力作用时，总保持原来的匀速直线运动状态或静止状态

3．“物体运动状态的改变”是指（　　）

A．速率的改变　　B．速度方向的改变

C．速度的改变　　D．物体的速度大小和方向必须都改变

4．下列说法正确的是（　　）

A．物体受到不为零的合力的作用，速度大小和方向一定同时发生变化

B．物体受到不为零的合力的作用，其运动状态不一定改变

C．物体只要受到不为零的合力的作用，就一定产生加速度

D．物体受到的力越大，其速度就越大

5．关于牛顿第一定律的说法中，正确的是（　　）

A．牛顿第一定律是实验定律

B．牛顿第一定律说明力是改变物体运动状态的原因

C．惯性定律与惯性的实质是一样的

D．物体的运动需要力来维持

6．理想实验有时更能深刻地反映自然规律。伽利略设想了一个理想实验如图4-1-3所示，其中有一个是经验事实，其余是推论。

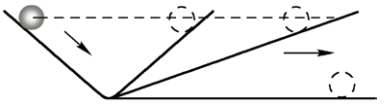


图4-1-3

① 减小第二个斜面的倾角，小球在这斜面上仍然要达到原来的高度。

② 两个对接的斜面，让静止的小球沿一个斜面滚下，小球将滚上另一个斜面。

③ 如果没有摩擦，小球将上升到原来释放时的高度。

④ 继续减小第二个斜面的倾角，最后使它成水平面，小球要沿水平面做持续的匀速运动。

请将上述理想实验的设想步骤按照正确的顺序排列____（只要写序号即可）。

在上述的设想步骤中，有的属于可靠的事实，有的则是理想化的推论。下列关于事实和推论的分类正确的是（　　）

A．①是事实，②③④是推论　　B．②是事实，①③④是推论

C．③是事实，①②④是推论　　D．④是事实，①②③是推论

7．亚里士多德认为：力是维持物体运动的原因。你能举个生活中的简单实例，推翻他的观点吗？

我的整理箱

知识的梳理

★

★

方法的形成

★

★

结构图

知识体系　　**思维操作**

伽利略的研究方法

牛顿第一定律的逻辑结构

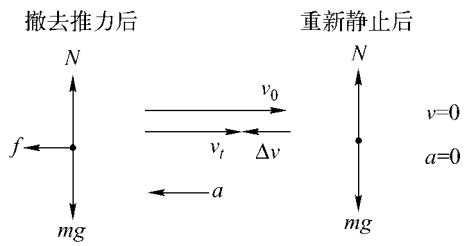
指导篇

一、参考答案

行文补丁

① 速度的大小　② 速度的方向

会画图



会说话

撤去推力后，由于阻力作用，小车受到的合力不为零（即$f\neq0$），不断减速，产生Δv和a，运动状态发生了改变。所以力是使物体运动状态改变的原因，或力是产生加速度的原因。

小车停止后阻力消失，合力为零。因此小车保持静止状态，不会产生Δv和a，处于平衡状态。

反馈题答案

【反馈1】　正确答案：B

思维操作	解答过程			
依据	牛顿第一定律			
条件和分析	初始状态小车和两个小球三者速度相同。当车突然停止时，两小球水平方向均不受力，运动状态不改变，所以继续做匀速直线运动，且速度仍然相同。所以两球不会相碰			
结论	A	B	C	D
	错误	正确	错误	错误

【反馈2】　正确答案：C

思维操作	解答过程			
依据	质量是物体惯性大小的唯一量度			
条件和分析	A	B	C	D
	速度不是惯性大小的量度	物体惯性大小与运动状态即速度无关	乒乓球质量小，所以惯性小。因此运动状态容易被改变	物体惯性大小与重力无关。地球上的物体移到月球上重力改变但质量不变
结论	错误	错误	正确	错误

训练营答案

1. CD　2. D　3. C　4. C　5. B　6. ②③①④，B　7. 将物体向上抛出，物体离开手之后，不再受到手施加的力，但仍会向上继续运动

二、整理箱提示

知识的梳理

★牛顿第一定律的内容　平衡态与非平衡态　标签1

★ 惯性　惯性的量度　标签2

方法的形成

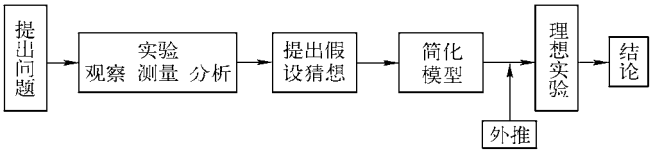
★ 理想实验的方法　标签3

★ 外推法　标签4

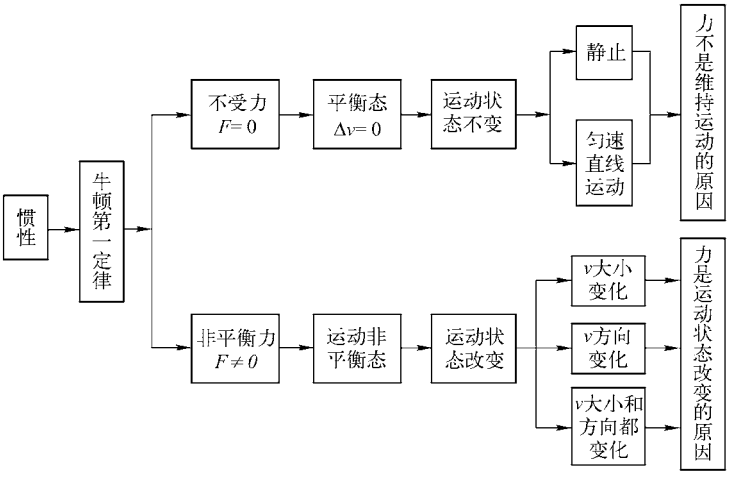
结构图

知识体系　**思维操作**

伽利略研究力和运动的理想实验方法　标签5



牛顿第一定律的逻辑结构　标签6



三、点拨与提高

1. 理想实验的魅力

小芳：“艾爷爷，伽利略所设想的实验在现实世界中能实现吗？”

阿牛：“我觉得不行。因为在现实中找不到不受任何阻力的情况。”

机灵鬼：“好像也找不到一个无限大的平面。”

艾爷爷：“是的，这是一个在伽利略的头脑中完成的理想实验，它与牛顿第一定律一样都是不能用真实实验直接验证的。”

机灵鬼：“可是，我不明白为什么一个不能验证的理想实验或定律却能推翻亚里士多德通过对自然界中大量现象的观察和总结得出的结论呢？”

艾爷爷：“这是一个很好的问题！你有一颗会思考的头脑。”



伽利略的理想实验并不是脱离实际的主观臆断，他的思考过程是有实践基础的。比如，伽利略通过观察小球的运动发现如果物体表面越光滑，小球就能滚得越远。小球之所以没有回到原有高度是由于摩擦力的影响。由于这些因素的存在，使得支配物体运动的简单规律被许多复杂因素所掩盖。要知道，事物的表象经常会欺骗我们的眼睛。所以他认为，为了找到事物的本质规律，首先应将注意力集中于摩擦力完全不起作用的对象上，这就是他对实验条件的简化。伽利略的理想实验就是在真实的科学实验的基础上，抓住主要矛盾，忽略次要矛盾，对实际过程做出更深入一层的抽象分析。

其次，“理想实验”的推理过程，是以一定的逻辑法则为根据的，比如伽利略理想实验中运用的趋势外推法。而这些逻辑法则，都是从长期的社会实践中总结出来的，并为实践所证实了的。

正像人们所知道的，伽利略在科学史中起到了独特的、关键性的作用。爱因斯坦曾评论他说，“伽利略的发现以及他所应用的科学推理方法，是人类思想史上最伟大的成就之一，标志着物理学的真正开端。”这个评价是十分恰当的。

2. 趋势外推法

在生活中，我们经常可以看到：运动的物体的速度是在逐渐变化的，烧开的热水温度是在逐渐降低的，花儿的叶子是慢慢长大的等。它们的变化都是循序渐进而不是跳跃式的，都遵循着一定的规律。这些规律不但决定了事物的过去和现在，往往也决定了事物发展的未来。这样我们就可以根据事物过去和现在发展变化的规律，推测出它的未来趋势和状态。这就是**趋势外推法**。

标签4

在伽利略的理想试验中，他根据斜面越光滑，小球运动的最高点与初始高度越接近这一事实，进一步外推到没有摩擦时小球将会回到初始高度这一结论，这就是运用外推法的一个实例。

3. 平衡状态与非平衡状态

物体的合力为零时，处于静止状态或做匀速直线运动状态。这两种情况，物体的速度都不发生改变，称为**平衡状态**。这里应注意静止可以视为匀速直线运动速度为零的一个特例。物体的合力不为零时，物体的速度必然会发生改变，这种情况称为**非平衡状态**。初中所学的牛顿第一定律只表明物体不受力时会处于平衡状态，而没有阐述物体在受力（合力不为零）时会处于非平衡状态。

标签1

牛顿第一定律建立了力与运动之间的正确关系，它与第二和第三定律一起构成了经典力学的三块理论基石，由此翻开物理学崭新的一页！

第二节　探究加速度与力、质量的关系

体验篇

小芳：“艾爷爷，牛顿第一定律告诉我们，力是使物体运动状态改变的原因，即产生加速度的原因。那么力与加速度之间有定量关系吗？”



阿牛：“物体受力越大，加速度就越大。”

艾爷爷顺手将机灵鬼正抱在怀里的滑板放在了地上，然后让机灵鬼坐在上面。

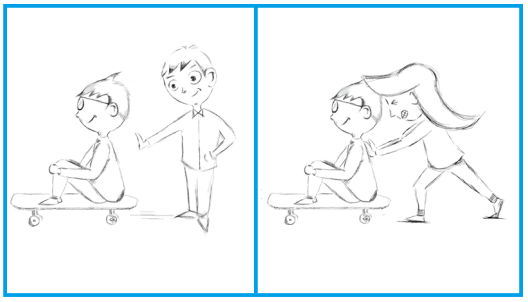


图4-2-1

艾爷爷：“阿牛和小芳，你们分别来推推他。”

机灵鬼：“还是阿牛有力气，我的速度增加得很快，你推就差多了。我支持阿牛的观点。”

艾爷爷：“阿牛，这次换你坐上去，再让小芳推一推。”

小芳：“他实在太胖了，还不如推机灵鬼。”

艾爷爷：“孩子们，这个小实验（图 4-2-1）究竟说明了什么？”

体验建议	请找一个平坦开阔的场地，和几位同学、好友一起来试一试，并谈谈你们的感受

学习篇

一、对教材的理解

1. 与艾爷爷的一次对话

放学后，阿牛、小芳和机灵鬼相约来到艾爷爷的办公室。

小芳：“艾爷爷，今天我们在物理课上学习了力与加速度和质量的关系。原来，加速度与力成正比，加速度与质量成反比。”

艾爷爷：“她说得对吗？”

阿牛和机灵鬼相互看了看，也不知所以然。

艾爷爷：“让我们看看问题究竟出在哪里了。”艾爷爷请大家坐下，然后提出了一连串的问题，“请你们说一说，物体的加速度与几个因素有关？为了找到它们的关系，教材中采用了怎样的实验分析方法？这种方法的含义是什么？”

会说话
请谈谈你对这个问题的认识，然后写出来

小芳：“加速度反映了物体运动状态变化的快慢，与两个因素有关，一是力，二是物体的质量。”

阿牛：“在实验中我们采用的是控制变量法。”

至于控制变量法的具体含义，大家似乎不知如何作答。这时，艾爷爷起身来到黑板前画了起来。

艾爷爷：“如果我们要搞清楚加速度与力、质量的关系，就需要运用一定的科学方法。请大家看这幅图。”



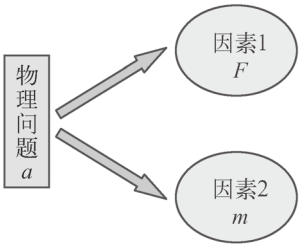


图4-2-2

标签4

如图4-2-2所示，通过大量的生活感受，我们猜测到力和质量是影响加速度的两个因素，它们相当于自变量x_1和x_2。加速度会随这两个自变量的改变而改变，相当于因变量y。我们的任务是通过实验寻找它们之间的关系，也就是确定它们之间的函数法则$y=f(x_1, x_2)$。在这个问题中，力或质量的改变是事件的起因，而加速度的改变是事件的结果。

物理学中对于多因素（多变量）的问题，常常采用控制因素（变量）的方法，把多因素的问题变成多个单因素的问题，而只改变其中的某一个因素，从而研究这个因素对事物的影响。分别加以研究，最后再综合解决，这种方法叫**控制变量法**。它是科学探究中的重要思想方法，广泛地运用在各种科学探索和科学实验研究之中。

标签2

阿牛：“因此，今天的课堂上，我们先在质量一定的情况下，研究加速度与力的关系，再在力一定的情况下，研究加速度与质量的关系。”

艾爷爷：“是的，请你们打开教材，看看它是如何表述的。”

机灵鬼：“应该是在_____一定时，_____与_____①成正比；在_____一定时，_____与_____②成反比。”

艾爷爷：“对，这样的表述才能正确反映它们之间的因果关系。在这两个影响加速度的因素中，力是从外部施加的，是影响物体运动状态变化快慢的外因，而质量是由物体自身决定的，是决定物体运动状态变化快慢的内因。”

标签4

所以，这个实验的结果必须表述为：

当m一定时，$a \propto F$；当F一定时，$a \propto \frac{1}{m}$。

2. 一个需要注意的问题

在教材提供的实验方案中，我们认为重物的重力近似等于小车的拉力，请你解释一下其中的原因。

会画图	会说话
请画出解释这个问题所需的受力与运动分析图	请谈谈你对这个问题的解释，然后写出来

艾爷爷：“正因为这个原因，这个实验对拉力的测量是近似的结果。只有在一定的条件下，这种

误差才可以忽略。这个问题我们以后才能真正分析清楚。让我们来看一个新的实验方案吧。”艾爷爷边说边带着孩子们来到了他的物理实验室。

二、一个新的实验方案

1. 实验方案的制定

艾爷爷走到仪器柜前，从里面取出了许多器材，一一放在了实验台上，然后把这些器材组装起来，如图4-2-3所示。示意图如图4-2-4所示。

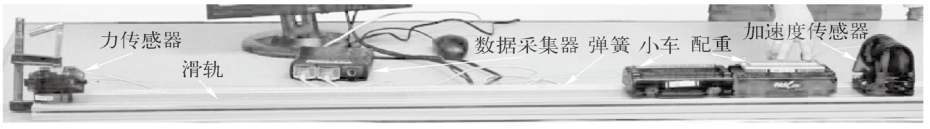


图4-2-3

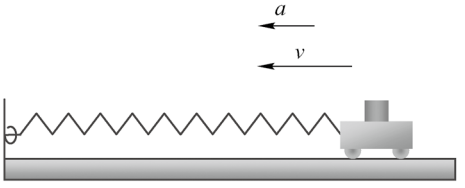


图4-2-4

力传感器与加速度传感器可以测量小车运动时的弹簧弹力的瞬时值和小车加速度的瞬时值。数据采集器能够以一定的时间间隔不断地将传感器测出的实时数据传输给计算机，由计算机将这些数据存储并显示出来。这样，就可以根据这些数据分析物理规律了。

会实验

艾爷爷：“现在，请大家想一想，如何利用这套设备，完成我们的实验。”

经过一番激烈的讨论与多次尝试、修改，大家终于制定出一个可行的实验方案。操作步骤如下：

（1）将小车拉到导轨的右端后由静止释放，计算机记录小车运动中的实时数据。

（2）改变车上的砝码质量，重复步骤（1）多次。

（3）根据计算机记录的数据绘制图线，找到加速度与力和质量的关系。

（4）分析实验结果，得出实验结论，整理仪器。

2. 实验方案的实施

现在，我们可以通过计算机仿真技术来实施这个实验。

仿真实验操作提示	（1）请将随书附送的多媒体光盘放入电脑中，在“第四章”文件夹中找到“探究加速度与力、质量的关系”实验文件，双击打开，开始实验 （2）请用鼠标拖拽“设置小车质量”箭头尾部，设定小车质量 （3）将鼠标箭头移动至小车上，按住左键向右拖拽至需要的位置 （4）点击“实验开始”按钮▶，开始实验。点击“实验暂停”按钮⏸，便于记录小车运动过程中的加速度和所受到的拉力

3. 实验数据的记录与分析

每进行一次实验，请在表4-2-1中记录相关的数据。

会实验

表4-2-1

小车质量 m(kg)	位置点									
	1		2		3		4		5	
	F(N)	a(m/s^2)	F(N)	a(m/s^2)	F(N)	a(m/s^2)	F(N)	a(m/s^2)	F(N)	a(m/s^2)

艾爷爷：“现在，我给大家每人一张坐标纸，你们可以根据这些数据画图像了。”说着，艾爷爷把坐标纸放在了桌子上。

阿牛和小芳认真地画起来。机灵鬼，你也开始吧！

请利用表 4-2-1 中的数据，在坐标纸（图 4-2-5）中画出图像，找到质量一定时，加速度与力的关系。

艾爷爷：“机灵鬼，请你根据大家画出的图像，分析一下实验结果吧。”

会说话

请你根据所画的图4-2-5，分析实验结果，然后写出来

标签3

机灵鬼的回 答，得到大家的一致赞同。

小芳：“那么从这张图中，如何找到加速度与质量的关系呢？”

听到小芳的问题，所有人都低头仔细端详着自己手中的图，沉默许久……

小芳：“我知道啦！”大家马上将目光集中在了她的身上。

小芳：“我们只要在坐标纸上画出一条竖直线，这条线与各条图线有四个交点，这四个交点的坐标表示了在力相同时，不同质量的小车的加速度。我们将这四个交点坐标读出来，再画出加速度随质量变化的图像，就可以找到它们的关系了！”

会实验

机灵鬼：“对呀，小芳你太强了！”机灵鬼一拍脑门，也开始画了起来。

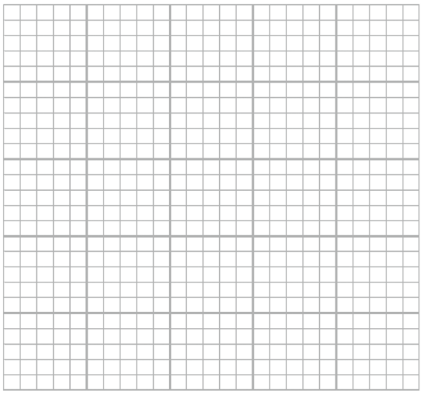


图4-2-5

请你先在图 4-2-5 中画出竖线，记录各交点坐标，然后在图 4-2-6 中画出加速度与质量的图像。

机灵鬼利落地描出各点，然后拟合图像。只见他端详了许久，而后皱起眉来。

机灵鬼：“这是一条曲线啊，很多函数的图像都是曲线，我如何能够判断它们的定量函数关系呢？”

小贴士

标签3

在建立坐标系时往往将因变量作为纵轴变量，将自变量作为横轴变量，以体现因果关系。在确定坐标轴时，不要忘记标明原点、物理量和单位。请使用铅笔作图。

阿牛：“今天老师在课上介绍过，可以将图像横轴变为质量的倒数。如果画出的图像是一条过原点的直线，就能够说明在力一定时，加速度与质量成反比。你难道没听到吗？”

会实验

机灵鬼：“有道理！我上课走神儿了。”于是，又拿了一张坐标纸（图 4-2-7）重新画起来。

机灵鬼：“这个方法真不错！”机灵鬼将画好的新图拿给阿牛，阿牛瞄了一眼，得意地笑了。

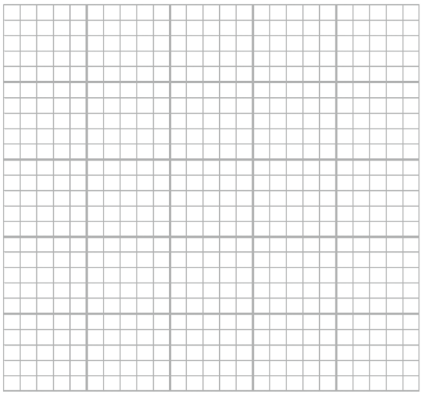


图4-2-6

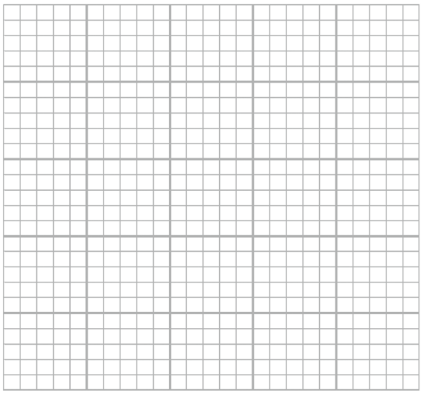


图4-2-7

标签3

会说话

请你根据图4-2-7，分析实验结果，然后写出来

艾爷爷：“干得好，孩子们！你们通过有效的协同配合，完成了一个富有挑战性的任务。现在大家一起来总结实验结论吧。”

4. 实验结论的得出

标签1

综合以上实验结果，我们发现：当小车质量一定时，加速度与力成正比，即 $a \propto F$；当小车受力一定时，加速度与质量成反比，即 $a \propto \frac{1}{m}$。

艾爷爷讲一讲

不过，你们画出的图像真的准确经过原点吗？每一个点都严格地位于那条直线上吗？在其他的物理现象中，也有这样的规律吗？我们通过有限的几次实验得到的结论仍然带有一定的不确定性，只有将这些“猜想”更多地运用在各种物理现象的分析之中，得到的结果仍然与事实相符时，这样的结论才能成为“定律”。

我的训练营

1．对于一个做匀速直线运动的物体而言，若要确定它的位移与速度、时间的关系，可以采用怎样的研究方法？请你设计一个研究方案。

2．阿牛与机灵鬼比赛打弹弓，当阿牛握住皮兜向后用力拉开弹弓的过程中，两侧皮筋对皮兜的合力会发生变化。如图4-2-8所示。



图4-2-8

请通过作图分析以下问题：

（1）合力的变化是由哪些因素引起的？

（2）这些因素各自对合力的变化产生了怎样的影响？

（3）合力是如何变化的？



我的整理箱

知识的梳理

★

方法的形成

★

★

结构图

知识体系　　思维操作

运用实验探究物理问题的思维过程

控制变量法的思维过程

指导篇

一、参考答案

行文补丁

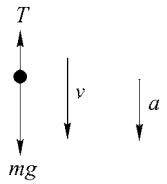
①质量　加速度　力　②力　加速度　质量



会说话

加速度与两个因素有关，即力和物体的质量。在实验中我们采用的是控制变量法

会画图



会说话

在小车与重物加速运动中，处于非平衡状态。由牛顿第一定律可知，重物的合力不为零，即绳上的拉力不等于重物的重力

会说话

利用表4-2-1中的数据，在图4-2-5中可画出四条过原点的直线。这说明在质量一定时，小车的加速度与拉力成正比，即$a \propto F$

会说话

根据图4-2-5四个交点的坐标数据，在图4-2-7中画出加速度与质量倒数的图像，是一条过原点的直线。这说明在力一定时，小车的加速度与小车的质量倒数成正比，或表述为小车的加速度与小车的质量成反比，即 $a \propto \dfrac{1}{m}$

训练营答案

1．影响匀速直线运动物体的位移的因素有速度和时间。我们可以利用秒表和刻度尺，分别观察在相等时间内物体的位移与速度的关系，以及在相同速度下物体的位移与时间的关系。这样就可以确定匀速直线运动物体的位移规律。

2．如图4-2-9所示，在阿牛握住皮兜向后用力拉开弹弓的过程中，两侧皮筋分别对皮兜施加拉力F_1、F_2。由于皮筋不断伸长，拉力F_1、F_2逐渐增大，同时拉力F_1、F_2的夹角不断变小，因此合力F的变化与这两个因素有关。若夹角不变，合力F会随拉力F_1、F_2的增大而变大；若拉力F_1、F_2大小不变，合力F会随夹角的减小而增大。所以，在这两个因素的共同作用下，合力F必然变大。（注意绘制下图时所选择的观察角度）

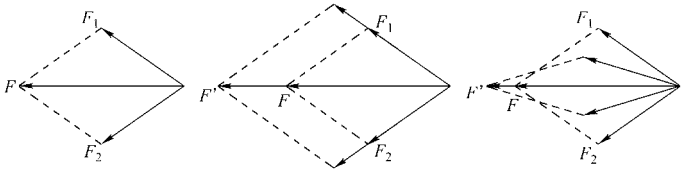


图4-2-9

二、整理箱提示

知识的梳理

★物体的加速度与力、质量的关系　　标签1

方法的形成

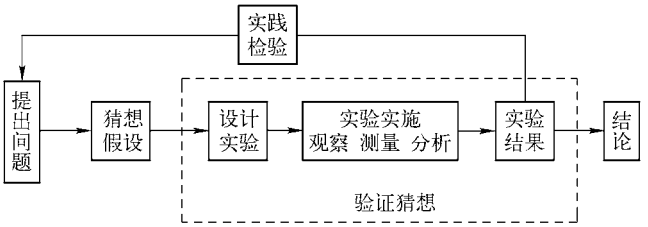
★ 控制变量法　　标签2

★ 图像法分析数据（坐标轴的因果关系、辅助线、调整坐标“曲变直”）　标签3

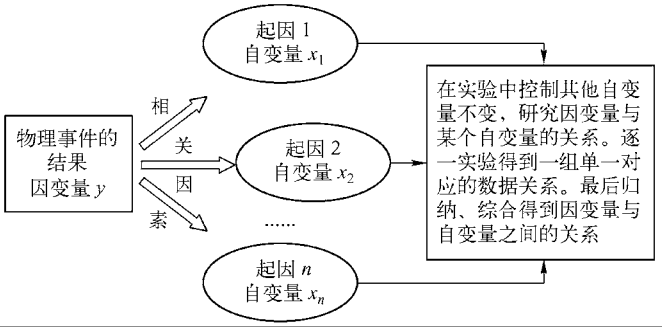
结构图

知识体系　　**思维操作**

运用实验探究物理问题的思维过程　　标签请在全节中寻找答案



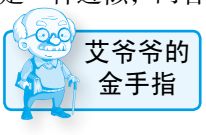
控制变量的思维过程　　标签4



三、点拨与提高

1. 实验中的“力”

一般而言，物体通常同时受到几个力的作用。我们知道合力可以代替这几个力的共同作用效果，所以在实验中产生加速度的力实际是指小车受到的合力。教材中的实验通过测量重物的重力来确定小车所受的力是一种近似，两者并不相等，其原因有以下两个方面：



（1）摩擦力的影响。

通过受力分析可知，小车运动过程中受到的合力应为拉力与摩擦力之和。由于小车与轨道间的摩擦力比小车所受拉力小很多，所以我们忽略了它的影响。

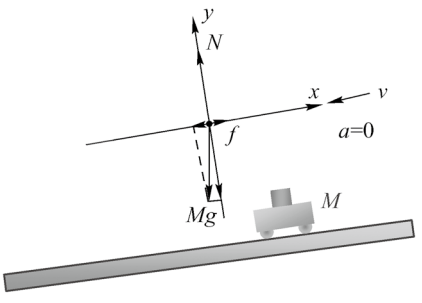


图4-2-10

那么，能否尽量减小摩擦力的影响呢？这里有一个简单可行的办法，如图4-2-10所示。我们可以将轨道一端稍稍垫起，调整高度，直到小车能大致在

轨道上做匀速直线运动。这时，小车重力沿斜面的分量就可以平衡摩擦力的影响了。

（2）重物重力与小车所受拉力的关系。

如图4-2-11所示，不考虑装置的任何阻力影响时，分别对小车和重物做受力分析，可知：由于它们都在做加速运动，所以合力均不为零。

根据牛顿第二定律$F=Ma$，可知$mg-F=ma$即$F=mg-ma$。

所以重物的重力实际上是小于小车所受拉力的。

根据以下两式

$$\begin{cases}\text{对小车：}F=Ma\\ \text{对重物：}mg-F=ma\end{cases}$$

消去a可得$F=\dfrac{M}{m+M}mg$

这一结果表明，只有当M比m大很多时，F与mg才近似相等。所以，在实验中小车的质量应尽量比重物的质量大一些。

小贴士

标题（2）的这部分内容，建议你在学习了下一节《牛顿第二定律》之后再来阅读，会更容易理解。

2. 传感器实验中的过程分析

在新的实验方案中，我们通过传感器实时测量小车运动过程中的力和加速度。值得我们注意的是，在这两个实验中小车的运动过程是不同的。教材原有的实验里，小车的加速度始终不变，做匀加速直线运动。而我们的小车是在弹簧弹力的作用下做变加速度的直线运动。通过前面学过的胡克定律和我们得到的实验结论可以知道：随着弹簧的形变量不断减小，弹簧弹力逐渐减小，小车运动的加速度也会逐渐减小，如图4-2-12所示。

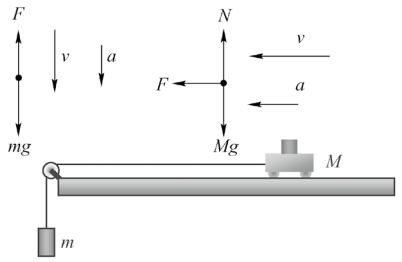


图4-2-11

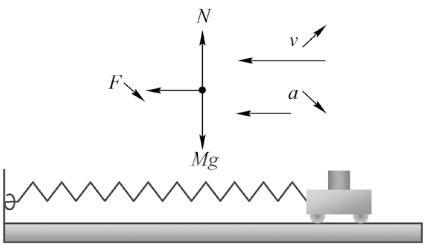


图4-2-12

通过这些实验我们应该意识到：对于一定质量的物体而言，如果受力不变，物体的加速度不会改变；如果受力不断变化，加速度也会随之不断地改变，加速度与力具有瞬时对应的关系。

第三节　牛顿第二定律

学习篇

一、牛顿第二定律的得出



小芳：“关于加速度与合力、物体质量的关系，无论是我们上课时在老师指导下做的实验，还是刚才的传感器实验，结果都是一致的。”

艾爷爷：“大量实践活动都证明了这一点，并从中归纳出了一般性表述。”

物体加速度的大小跟作用力成正比，跟物体的质量成反比，加速度的方向跟作用力的方向相同。这就是**牛顿第二定律**。

标签1

这一规律可以用数学方法表示为 $a \propto \frac{F}{m}$ 或者 $F \propto ma$

也可以写为 $F = kma$

其中k是比例系数。

上式中的k取任意值，都可以反映加速度与质量和力的关系。但在物理学中，为了使物理规律更加简洁，我们规定k=1。这样，牛顿第二定律可表达为

$$F = ma$$

当质量为1kg的物体在某力作用下获得1m/s^2的加速度时，$F = ma$=1kg×1m/s^2=1kg·m/s^2。我们就将这个力叫做“一个单位的力”。后人为了纪念牛顿，将这一力的单位“kg·m/s^2”称做“牛顿”，用符号“N”表示。

二、对牛顿第二定律的理解

1. 一片羽毛的运动



艾爷爷：“还记得在半个月前，你们学习自由落体运动时老师演示的牛顿管实验吗？”

阿牛：“记得。玻璃管中的空气被抽出后，里面的金属片和羽毛下落得一样快。”

艾爷爷：“为什么会这样呢？大家能否运用我们已经得到的牛顿第二定律加以解释呢？”

只见机灵鬼停顿了片刻，顺手拿起桌子上的纸笔一边画图一边解释起来。

会画图

请画出小球在自由下落过程中的受力图和运动图

会说话

请分析为何不同质量的物体做自由落体运动的加速度都一样，将分析的过程写出来

标签2

小芳：“那么羽毛在空气中下落时，会受到空气阻力的影响，它的加速度是由重力和空气阻力的合力引起的，这个加速度比重力加速度小。所以与在真空中相比较，羽毛在空气中下落得会比较慢！”

艾爷爷：“完全正确！”

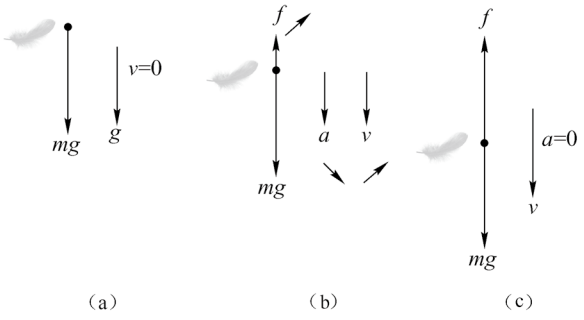
阿牛：“可是，我看到的羽毛似乎是匀速下落的，难道这是我的错觉吗？”

艾爷爷：“事实上，空气对运动物体会产生阻力作用，这个阻力会随着物体速度的增加而不断增大。大家再仔细想一想，空气中的一片从静止开始下落的羽毛，究竟会做怎样的运动呢？”

标签4

【例题1】

请分析一片羽毛在空气中下落的运动情况

思维操作	解答过程
研究对象	羽毛
情境图	
适用规律	（1）牛顿第二定律：加速度跟物体的作用力成正比 （2）物体做加速和减速运动的条件：a和v同向，物体做加速运动；a和v反向，物体做减速运动
物理模型	羽毛在开始下落时的受力与运动情况如图（a）所示。这时由于羽毛只受重力，所以会产生向下的加速度，即将开始下落。而在下落过程中，由于空气阻力不断随速度的增加而增大，使得合力不断减小，加速度不断减小，如图（b）所示。当空气阻力增大到与羽毛的重力相等时，合力为零，加速度为零，运动状态不再改变，羽毛匀速下落，如图（c）所示 所以羽毛先做变加速度直线运动，再做匀速直线运动
会说话	请将上述分析过程向你的老师、同学或自己说一遍

经过一番争论，孩子们达成了一致。

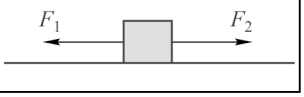
阿牛：“所以，羽毛应该是先做加速度减小的加速运动，最终会匀速下落。看来我的眼力还是很不错的。”

艾爷爷：“在空气中，质量和密度较小的物体受到空气阻力的影响较大，它们下落时会很快达到最大速度，开始匀速运动。而质量和密度较大的物体受到空气阻力的影响较小。例如，乒乓球在空气中下落的最大速度是 9m/s，棒球的最大速度是 42m/s。所以你们会看到在空气中金属片下落得较快。”

仿真实验操作提示	（1）请将多媒体光盘放入电脑中，在“第四章”文件夹中找到“小球在真空或空气中的运动”文件，双击打开 （2）请根据操作提示设置初始参数，点击“实验开始”按钮，开始实验 （3）该实验可以模拟在真空或空气中的物体运动。请注意对比这两种不同环境中物体的运动图像

【反馈1】

如右图所示光滑水平面上，一物体受到大小相等方向相反的两个水平力F_1和F_2作用，向右做匀速直线运动。若在运动过程中F_1逐渐减小到零，请分析物体在这个过程中的运动情况



续表

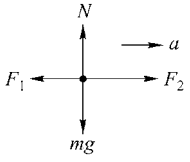
思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
适用规律	
物理模型	

2. 滑板的加速度

艾爷爷拿起机灵鬼的滑板放在桌子上并提出了一个问题。

【例题2】 标签3

如果机灵鬼和阿牛为了抢这个质量为4kg的滑板，分别在水平方向上施加了大小为80N和100N的拉力，这两个力方向相反。那么，这时滑板的加速度是多大？方向如何？

思维操作	解答过程
研究对象	滑板
情境图	 由于滑板在竖直方向上始终没有运动，所以滑板的支持力和重力相等。在忽略很小的阻力作用的情况下，阿牛施加的拉力F_2较大，所以合力的方向应该指向阿牛一侧，这也应是滑板产生加速度的方向
适用规律	牛顿第二定律
运算过程	设：F_1=80N，F_2=100N 以加速度方向为正方向，有 $F_2-F_1=ma$ 代入数据：$a=\frac{100-80}{4}=+5\text{m/s}^2$ 方向指向阿牛一侧
分析结果	结果单位正确，大小与实际相符，方向与上述分析相符



小贴士

在运用牛顿第二定律解题时，通常习惯以加速度的方向为正方向。

【反馈2】

为了将放置在地面上的水桶以2m/s²的加速度提起来，阿牛需要给水桶施加24N的向上的拉力。那么，这个水桶的质量是多少？（g取10m/s²）

思维操作	解答过程

续表

研究对象	
情境图	
适用规律	
运算过程	
分析结果	

3. 一个木箱的受力

艾爷爷放下手中的滑板又来到黑板前，随手画了一张图，如图4-3-1所示。

艾爷爷：“在光滑水平面上放一个质量为 m=40kg 的木箱，用一个与水平方向成 37° 角的拉力 F 使它以 1m/s^2 的加速度由静止开始向右水平运动，这个力应为多大？”

阿牛：“木箱从静止开始向右运动，所以加速度向右。由牛顿第二定律可知，木箱的合力也应向右，还可以求出合力的大小。”

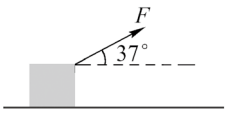


图4-3-1

机灵鬼：“怎么求拉力呢？”

可以利用牛顿第二定律根据木箱的质量和加速度求出木箱的合力，进而再求解出拉力 F。不过这样做稍显繁琐。在上一章我们学习了**正交分解法**，利用这一方法求解拉力会更简单。我们可以在水平和竖直方向建立直角坐标系，在这两个方向上分解拉力 F。F 的水平分量产生水平方向的加速度 a，使木箱在水平方向上由静止开始运动。而在竖直方向上的支持力、拉力的竖直分量与重力平衡。如图 4-3-2 所示。

标签5

小芳：“明白了，我们可以在坐标系的两个方向上分别列出牛顿第二定律的分量方程。”

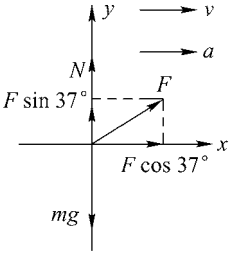


图4-3-2

标签7

以坐标轴方向为正方向，由牛顿第二定律得

$$\begin{cases} F\cos 37^\circ = ma \\ N + F\sin 37^\circ - mg = 0 \end{cases}$$

代入数据可得F=50N

【反馈3】

小芳在滑雪场乘坐雪橇从滑道上滑下，她与雪橇总质量为50kg，滑道与水平方向的夹角为37°，雪橇与滑道间的动摩擦因数是0.15，小芳下滑的加速度是多大？（g取10m/s^2）

思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	

续表

适用规律	
运算过程	
分析结果	

三、力学单位制

艾爷爷：“孩子们，在物理教材中还介绍了关于力学单位制的一些知识，你们能够回答我提出的下列问题吗？”

标签6

① 什么是单位制？

② 什么是国际单位制？在力学范围内，有几个基本单位？

针对这些问题，孩子们七嘴八舌地议论起来。

会说话

请将上述问题的答案写出来

我的训练营

1．下面说法中正确的是（　　）

A．力是物体产生加速度的原因

B．物体运动状态发生变化，一定有力作用在该物体上

C．物体运动速度的方向与它受到的合外力的方向总是一致的

D．物体受恒定外力作用，它的加速度恒定，物体受到的外力发生变化，它的加速度也变化

2．物体在合外力F作用下，产生加速度a，下面哪几种说法是正确的（　　）

A．在匀减速直线运动中，a与F反向

B．只有在匀加速直线运动中，a才与F同向

C．不论在什么运动中，a与F的方向总是一致的

D．以上三点都是错误的

3．从牛顿第二定律可知（　　）

A．同一物体的运动速度越大，受到的合外力也越大

B．同一物体的运动速度变化越小，受到的合外力也越小

C．物体的质量与它所受到的合外力成正比，跟它的加速度成反比

D．同一物体的运动速度变化越快，受到的合力也越大

4．静止在光滑水平面上的物体受到一个水平拉力，当力开始作用的瞬间，下列说法正确的是（　　）

A．物体立即获得速度和加速度　　B．物体立即获得加速度，但速度为零

C．物体的速度和加速度仍为零　　D．物体立即获得速度，但加速度仍为零

5．质量为m_1和m_2的两物体分别受到相同的合外力F的作用，产生加速度分别为6m/s^2和3m/s^2，当质量是m_1+m_2的物体也受到相同的合外力F的作用时产生的加速度是（　　）

A．9 m/s^2　　B．3 m/s^2　　C．2 m/s^2　　D．6m/s^2

6．机灵鬼用一根绳子提起一个质量为8kg的水桶，绳子能够承受的最大拉力为100N。若机灵鬼希望水桶能以2m/s^2的加速度向上运动，这时绳子是否有断裂的危险？（要求画出受力与运动分析图）

7．在一个固定斜面上，放置一个质量为1kg的滑块，滑块与斜面的动摩擦因数为0.5，斜面的倾角为37°。请判断滑块是否能够沿斜面下滑？如果能够下滑，请求出滑块下滑的加速度为多大？（sin37°=0.6，cos37°=0.8，g=10m/s^2）（要求画出受力与运动分析图）

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

方法的形成

★

★

结构图

知识体系

思维操作

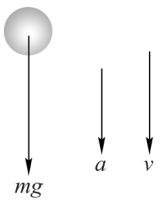
运用牛顿第二定律解题的思维操作程序

指导篇

一、参考答案

行文补丁

会画图



会说话

小球自由下落时只受重力，由牛顿第二定律可知$mg = ma$，所以$a = g$。因此在同一地点的物体，无论质量大小，加速度均相同。自由落体运动的初速度为零，由匀变速运动规律 可知$x=\frac{1}{2}at^2$，不同质量的物体经过相同时间下落的高度均相同

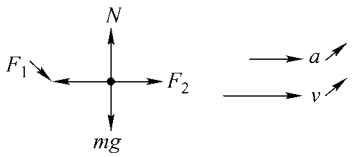
会说话

（1）单位制是由基本单位和导出单位组成的一系列完整的单位体制

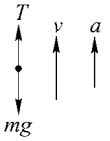
（2）国际单位制是于1960年在第11届国际计量大会上通过的单位制，被世界各国和国际组织广泛采用。它由7个基本单位、2个辅助单位和19个导出单位组成。在力学中，有三个基本单位，即米（m）、秒（s）、千克（kg）

反馈题答案

【反馈1】

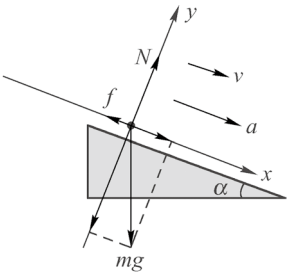
思维过程	解答过程
研究对象	物体
情境图	
适用规律	（1）牛顿第二定律：加速度跟物体的作用力成正比 （2）物体做加速和减速运动的条件：a和v同向，物体做加速运动；a和v反向，物体做减速运动
物理模型	F_1逐渐减小的过程中，合力方向向右且逐渐增大，加速度增大，加速度与速度同向，速度增大，物体向右做加速度增大的加速运动

【反馈2】

思维操作	解答过程
研究对象	水桶
情境图	

续表

适用规律	牛顿第二定律
运算过程	规定向上为正方向，由牛顿第二定律$T-mg=ma$ $$m=\frac{T}{a+g}=\frac{24}{2+10}=2\text{kg}$$
分析结果	结果单位正确，水桶的质量为2kg，与实际情况相符

【反馈3】	
思维操作	解答过程
研究对象	小芳与雪橇组成的整体
情境图	
适用规律	（1）牛顿第二定律 （2）滑动摩擦力规律
运算过程	以坐标轴方向为正方向，由牛顿第二定律$\begin{cases} mg\sin\alpha-f=ma \\ N-mg\cos\alpha=0 \end{cases}$ 滑动摩擦力规律$f=\mu N$ 联立上述方程 $a=g(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)=10\times(0.6-0.15\times0.8)=4.8\text{m/s}^2$
分析结果	结果单位正确，大小与实际情况相符

训练营答案

1．ABD 2．C 3．D 4．B 5．C 6．没有断裂的危险　7．能下滑。加速度为 2m/s^2

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 牛顿第二定律的文字表述与数学表达　标签1

★ 牛顿第二定律的性质：因果性　标签2　矢量性　标签3

瞬时性　标签4　独立性　标签5

★ 力学单位制　标签6

方法的形成

★正交分解法

★运用牛顿第二定律解题的基本方法

标签7

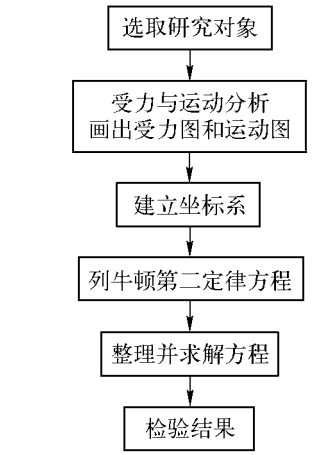
标签请在全节中寻找答案

结构图

知识体系

思维操作

运用牛顿第二定律解题的操作程序　标签请在全节中寻找答案



三、点拨与提高

1. 牛顿第二定律与牛顿第一定律的关系



牛顿在阐述第一定律时指出了力的定性定义：力是物体对物体的作用，是物体运动状态改变的原因。而在第二定律中，对力做了定量定义：在某力作用下，使质量为1kg的物体获得1m/s^2的加速度，那么这个力为1N。

牛顿第一定律定性地阐述了物体受力与物体运动之间的关系，即物体不受力时处于平衡状态（运动状态不改变）；物体受力时处于非平衡状态（运动状态改变）。牛顿第二定律则对物体受力与物体运动状态改变之间的关系做出进一步的定量表述。

在牛顿第一定律中，还提出了惯性概念，明确了惯性是任何物体都具有的固有属性。而第二定律则表明，当物体受力一定时，质量越大的物体，加速度越小，即运动状态越难改变。所以，质量是物体惯性大小的量度。

除此之外，牛顿第一定律事实上还定义了惯性参考系。只有在惯性参考系中，第一定律和第二定律才是成立的。

总之，牛顿第一定律的提出，包含了惯性参考系、力及惯性等基本物理学概念。只有在此基础上才能进一步研究受力作用的物体运动变化的规律。牛顿第一定律是建立其他物理规律的前提和基础，不能将牛顿第一定律视为牛顿第二定律在F=0时的特例。

2. 牛顿第二定律的性质

（1）因果性。　标签2

牛顿第二定律表明：力是产生加速度的原因，它是促进物体运动状态改变的外部因素；质

量是物体惯性的量度，它是对抗运动状态变化的内在因素。而这对矛盾对立的关系统一表现在物体上，物体运动状态改变的最终结果取决于它们的共同作用。所以，牛顿第二定律更加科学的表达式应为$a=\frac{F}{m}$。

（2）矢量性。 标签3

物体往往受到多个力的作用，这里的力指合力。力和加速度都是矢量，物体加速度方向与物体所受合力的方向一致。牛顿第二定律数学表达式中，等号不仅表示左右两边数值相等，也表示方向一致，即物体加速度方向与所受合力方向相同。

（3）瞬时性。 标签4

当物体（质量一定）所受合力发生变化时，作为由合力决定的加速度的大小和方向也要同时发生变化；当合力为零时，加速度同时为零，加速度与合力保持时时对应关系。牛顿第二定律是一个瞬时对应的规律，表明了力的瞬间效应。

（4）独立性。 标签5

作用在物体上的合力所产生的加速度，等于每个力独立作用在物体上所产生加速度的矢量和。

上述的这些性质，在学习篇中设置的各个问题中均有所体现，请在学习的过程中注意它们之间的前后联系。

第四节　牛顿第三定律

体验篇



力是物体与物体之间的相互作用，当一个物体A对另一个物体B施加了力的作用，物体B也同时会对物体A施加力的作用。 标签1

艾爷爷：“孩子们，你们能够从生活中举出一些物体之间相互作用的例子吗？”

小芳：“在划船时，用船桨向后滑水，船桨对水施加向后的力，同时水对船桨施加向前的力，使船开始向前运动。”

阿牛将机灵鬼的滑板放在地上，小心地站上去然后用力推墙。

阿牛：“我对墙施加力的作用，同时墙也对我施加了力的作用，使我向后运动起来。”

艾爷爷：“那么，机灵鬼你也说说看。”

机灵鬼：“这样的例子太多了，比如将一个充好气的气球嘴松开，其中的气体在不断收缩的气球壁的压力作用下快速挤出，而气体也会同时对气球施加力的作用，使气球在空中向喷出气体的反方向运动。”

体验建议	如果你有这些条件或物品，请你亲自感受一下

这时，艾爷爷打开抽屉，从里面拿出了两根相同的皮筋，然后用一小段细线将两根皮筋的一端紧紧地捆在一起，再用两根铅笔分别套在两根皮筋的另一端，如图4-4-1所示。

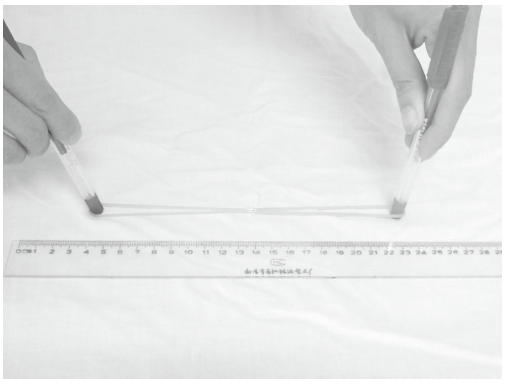


图4-4-1

艾爷爷：“我们可以利用这个小实验来研究一下两根皮筋间的相互作用力是怎样的关系。”

机灵鬼，你也来试一试吧，然后把实验的结果记录下来。

____ ①

学习篇

一、牛顿第三定律

艾爷爷：“我们发现，力的作用是相互的。力总是成对出现，我们将这一对力称为**作用力和反作用力**。” 标签1

通过对生活中的大量现象的观察和精确的定量实验我们发现：**两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等，方向相反，作用在同一条直线上**。这就是**牛顿第三定律**。它的数学表达式为 标签2

$$F_{A对B}=-F_{B对A}$$

艾爷爷：“你们能否找出与这本书有关的所有作用力和反作用力？”这时艾爷爷指着放在桌子上的一本书问。

阿牛：“这太简单了，我知道。书受到的支持力和桌面受到的压力是一对作用力和反作用力。书的重力和书受到的支持力也是一对作用力和反作用力。”

艾爷爷：“是吗？看来，我们有必要明确作用力与反作用力的特点，以及它与平衡力的区别。”

二、作用力与反作用力的特点

艾爷爷转身来到黑板前，列出了一个表格，见表4-4-1。

表4-4-1　相互作用力与平衡力的对照

标签1

力的特点	作用力和反作用力	平衡力
作用对象	作用在不同物体上不能求合力、不能抵消	作用在同一物体上可以求合力、可以抵消
力的性质	一定是同性质的力	不一定是同性质的力
力的产生与消失	同时产生、同时消失、一定同时存在	不一定同时产生同时消失、可以单独存在
力的大小与方向关系	等大反向	等大反向

阿牛：“纠正一下自己，重力和支持力应该是一对平衡力。因为它们是作用在一个物体上的，而且它们的性质不同，一个是引力，一个是弹力。另外，如果将桌子突然撤去，书仍会受到重力，但不会受到支持力了。”

艾爷爷：“阿牛说得对！我们还应注意作用力与反作用力没有因果关系。它们同时出现同时消失，不能说一个力是起因，而另一个力是结果，它们中的任何一个力都可以被认为是作用力，而另一个力就称为反作用力。发生力的作用的两个物体，互为施力物体或受力物体。机灵鬼，你来归纳一下关于书受到的所有作用力和反作用力及平衡力。”

会说话

请找出与这本书有关的所有作用力和反作用力及平衡力，并说明理由

标签5

艾爷爷：“为了正确地区分作用力和反作用力及平衡力，我们应该画出受力分析图，并在画图时养成良好的**符号操作习惯**。”艾爷爷一边说，一边在黑板上画出了受力分析图，如图 4-4-2 所示。

艾爷爷：“从这张图中我们可以看到，一对作用力和反作用力的下角标有明显的对称性且只涉及两个物体。而一对平衡力则涉及三个物体（一个受力物体和两个施力物体）。这样我们就可以方便地区分它们了。”

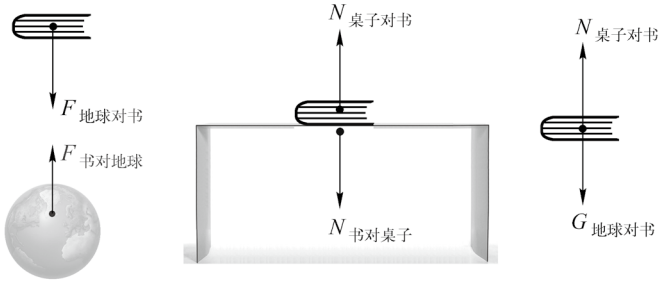
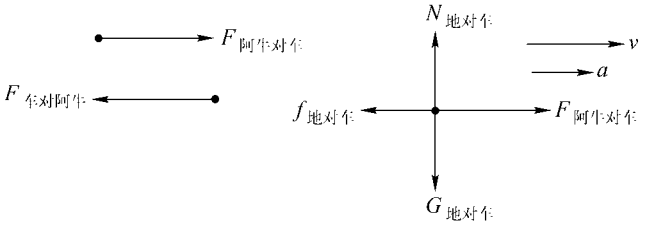


图4-4-2

小芳：“啊，这真是一个好办法！”

【例题】

阿牛推着自行车加速向前运动。请比较阿牛对自行车的作用力与自行车对阿牛的作用力，并说明自行车加速运动的原因

思维操作	解答过程
研究对象	车　阿牛
情境图	
适用规律	牛顿第二定律 牛顿第三定律
分析结果	由牛顿第三定律可知，阿牛对自行车的作用力与自行车对阿牛的作用力作用在两个不同物体上，它们都是弹力，且同时产生同时消失，它们是一对作用力和反作用力，所以它们等大反向 由牛顿第二定律可知，自行车加速向前运动是由于自行车受到的推力大于自行车受到的阻力，合力和加速度方向向前
会操作	注意从作用力与反作用力的特点加以分析！　确信你能独立重复！在绘制受力分析图时注意规范的符号角标操作

【反馈】

“用石头撞鸡蛋，鸡蛋破碎而石头完好。这说明石头对鸡蛋施加的力大于鸡蛋对石头施加的力。”这种说法正确吗？请分析并说明理由

思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
适用规律	
分析结果	

我的训练营

1．物体静止在斜面上，以下的几种分析中正确的是（　　）

A．物体所受到静摩擦力的反作用力是重力沿斜面的分力

B．物体所受重力沿垂直斜面的分力就是物体对斜面的压力

C．物体所受重力的反作用力就是斜面对它的静摩擦力和支持力这两个力的合力

D．物体所受支持力的反作用力就是物体对斜面的压力

2．如图4-4-3所示，一只皮箱放在手推车上，请画出图中各个物体的受力分析图。并指出图中的作用力与反作用力。请以手推车和皮箱组成的系统作为研究对象，画出受力分析图。并分析图中的力是否是作用力与反作用力。（画图时注意标注角标符号）



图4-4-3

3．小芳在溜冰场学习滑冰，她的质量为50kg，当她用10N的力沿水平方向推护栏时，她的加速度是多大？（不计冰鞋与冰面之间的摩擦）

4．在拔河比赛时，赢得比赛的一方对绳子施加的拉力是否大于另一方对绳子施加的拉力？这对拉力是作用力与反作用力吗？

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

★

方法的形成

★

结构图

知识体系	本节的知识结构	思维操作

指导篇

一、参考答案

行文补丁

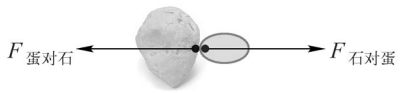
① 将套上橡皮筋的两只铅笔彼此拉开，经用刻度尺测量，两条橡皮筋的长度基本相同，说明两根橡皮筋的拉力大小是相等的；两条橡皮筋共线，说明两根橡皮筋的拉力是共线的。

会说话

书受到的支持力和桌面受到的压力是一对作用力和反作用力。地球对书的吸引力和书对地球的吸引力是一对作用力和反作用力。这两对力等大、反向，作用在两个不同的物体上，性质相同，同时产生或消失。书受到的支持力和书受到的重力是一对平衡力。这对力等大、反向，作用在同一个物体上，性质不同，可以单独存在

反馈题答案

【反馈】

思维操作	解答过程
研究对象	鸡蛋　石头
情境图	
适用规律	牛顿第三定律
分析结果	由牛顿第三定律可知，鸡蛋对石头的作用力与石头对鸡蛋的作用力作用在两个不同物体上，它们都是弹力，且同时产生同时消失，它们是一对作用力和反作用力，所以它们等大反向。而在相互碰撞中，鸡蛋破碎是由于鸡蛋壳很薄且容易发生脆裂，石头坚硬承受压力的能力要强得多。因此这种说法不对

训练营答案

1．D

2．车对皮箱的支持力和皮箱对车的压力是作用力与反作用力。以手推车和皮箱组成的系统作为研究对象，画出的受力分析图中的力是一对平衡力。受力分析图如图4-4-4所示。

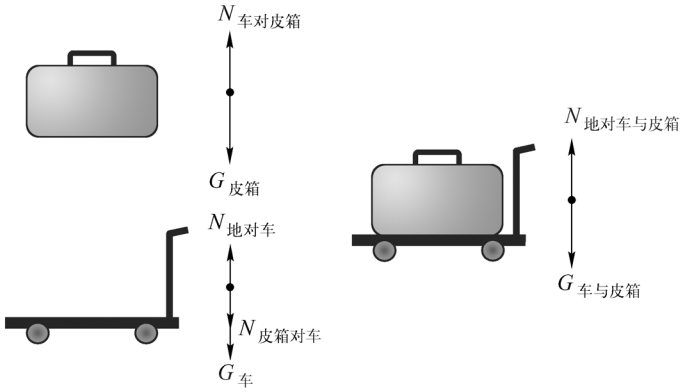


图4-4-4

3．$a=0.2\text{m/s}^2$

4．略大或近似相等，不是作用力与反作用力

二、整理箱提示

知识的梳理

★作用力与反作用力的概念及特点 标签1

★牛顿第三定律的内容 标签2

★系统与外界 标签3

★内力与外力 标签4

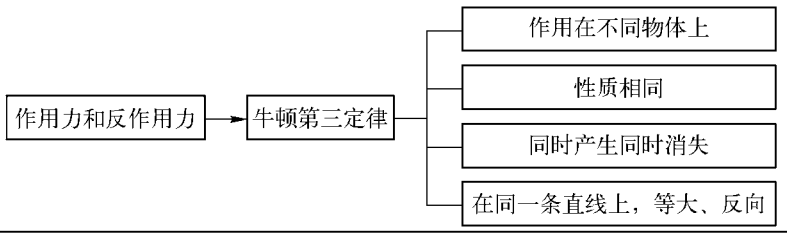
方法的形成

★受力分析中的符号操作规范 标签5

结构图

知识体系 思维操作

牛顿第三定律知识结构图 标签请在全节中寻找答案



三、点拨与提高

1. 系统与外界 标签3

在物理学中，我们经常将一个或多个对象组成的整体称做**系统**。在这个系统中，一个对象的各个部分或各个对象之间往往有着某种联系。比如桌子和桌子上的一本书，它们之间有着力的作用，我们可以将桌子和书看做一个系统。而与系统相对应的是外界，**外界**指除掉系统之外的其他部分。例如相对于桌子和书这个系统，地球是外界。



2. 内力与外力 标签4

牛顿第三定律告诉我们力的作用是相互的，也表明力的作用离不开施力物体和受力物体。从力的作用的相互性来看，施力物体和受力物体又是相对的。例如书既是桌子受到的压力的施力物体，也是桌子对书施加的支持力的受力物体。

我们在做受力分析时，首先应明确系统和外界。通常我们只关心研究对象受到的力，而不研究它施加给外界的力。比如若以书为研究对象，那么地球和桌子就是外界。书分别受到了地球和桌子施加的重力和支持力，如图4-4-5所示。这两个力的施力体都在外界，我们把这种力称做**外力**。

如果我们以书和桌子作为一个系统，那么地球就是外界。这个系统受到地球的吸引力和支持力。如图4-4-5所示。这两个力也是外力。在这里需要我们注意的是，桌子对书的支持力和书对桌子的压力并没有出现在受力分析图中。我们不难发现这对作用力和反作用力的施力物体分别是桌子和书，它们都是系统内部的对象，这种力称做**内力**。显然在受力分析图中只出现外力而不会出现内力，而且变换研究对象后，有些力可能会由外力变为内力，如图4-4-6中的$N_{桌子对书}$。

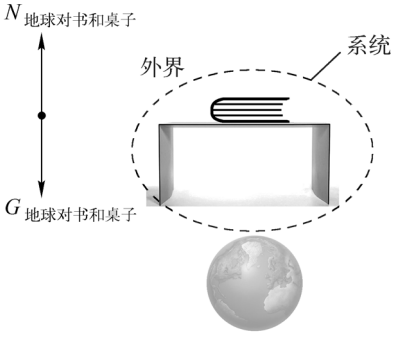


图4-4-5

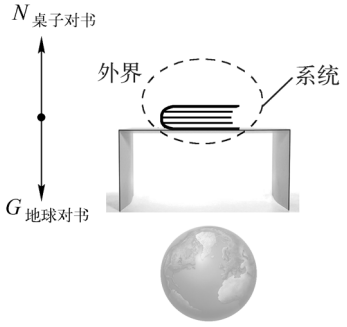


图4-4-6

在牛顿第一定律和牛顿第二定律中都提到了力，阐述了物体受力与运动之间的关系，这里所说的力均指外力。外力是改变物体运动状态的原因。

第五节　牛顿运动定律的应用（一）

体验篇



周末的晚上，孩子们来到艾爷爷的家做客。电视里正播放着一部介绍热气球运动的科教节目。

艾爷爷：“你们知道吗？我年轻的时候，也参与过热气球运动。考考你们，在天上如何控制气球的飞行高度呢？”

三个孩子你一言我一语地争论起来。

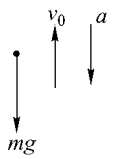
体验建议	（1）上网或查阅资料看如何控制热气球的飞行高度 （2）找来一本书平放在桌面上，再将一块橡皮放在书上。在不接触橡皮的前提下，如何把这本书拿出来？请用你的教材和橡皮来做这个实验，感受一下能够将书从中抽出的条件

学习篇

一、受力与运动分析

机灵鬼：“您的问题我解决了！可以通过控制吹入气球的热空气量或调整吊篮中的压舱物来控制气球的飞行高度。”

艾爷爷：“很好！从一个正在不断上升的热气球上轻轻释放一个压舱用的重物，这个重物从被释放到落地是如何运动的？”

【例题1】	
从一个正在不断上升的热气球上轻轻释放一个压舱用的重物，这个重物从被释放到落地是如何运动的?	
思维操作	解答过程
研究对象	重物
情境图	 分析重物运动的初始状态的速度和加速度，画出重物的受力和运动分析图
适用规律	牛顿第二定律 物体做加速和减速运动的条件：a和v同向，物体做加速运动；a和v反向，物体做减速运动
物理模型	重物在释放后的瞬间与气球有相同的初速度，方向向上。由于重物只受重力作用，重物的加速度方向向下。所以，重物先向上做匀减速运动，再向下做匀加速运动至落地 。所以物体做匀变速直线运动（竖直上抛运动）
会说话	请将上述分析过程向你的老师、同学或自己说一遍



牛顿运动三定律，是现代物理学和工程学的基础，被誉为近代物理学大厦的三块奠基石。它使我们认识到自然界中的物体发生的各种各样的运动竟然都遵循着如此简明的规律。牛顿三定律的形式和内容虽不复杂，但能够正确、灵活地运用它分析问题却是另一回事了。

在分析一个物体的运动时，首先要明确研究对象的初状态，包括速度和加速度，再由初速度和加速度的关系分析物体的运动，**即一个对象的运动由其初速度和加速度决定**。牛顿运动定律将物体的受力情况与运动情况科学地对应起来，它表明物体的加速度是由物体受到的合外力决定的，所以判断一个物体做什么运动是不能离开受力分析的。艾爷爷又在纸上画了几笔，给孩子们提出了一个新问题。如图4-5-1所示。

标签3

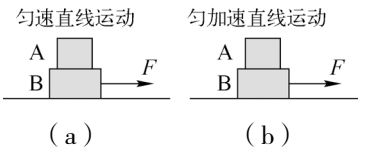


图4-5-1

艾爷爷：“A、B 两个物体叠放在水平桌面上，在对物体 B 施加了不同大小的水平恒力作用后，可以使两物体一起做匀速直线运动或匀加速直线运动。请对这两种情况中的物体 A 做受力分析。”艾爷爷发给每人一张纸，要求大家画出受力分析图。

会画图

请分别对A、B物体在两种不同情况下做受力分析，画出受力分析图

标签8

这里我们可根据牛顿第二定律做出如下判断：在图4-5-1（a）中由于物体A做匀速直线运动，所以水平方向不受力；在图4-5-1（b）中，由于物体A做匀加速直线运动，所以必然受到与加速度方向同向的静摩擦力作用。

从这个例子我们可以看出，受力分析首先应确定研究对象，依据力的基本概念（如产生条件）以重力、弹力、摩擦力的顺序分析对象受力。但**更为重要的是要运用牛顿运动定律通过对象的运动情况确定物体的受力**。因此受力分析同样是不能脱离运动分析的。

标签3

当我们分析一个对象所经历的物理过程时，**受力分析与运动分析应互为依据，相互印证**。它是学习物理学的重要基础，是抽象物理模型的重要手段。

【反馈1】

一个在水平地面上做直线运动的物体，在水平方向只受地面摩擦力f的作用，当对这个物体施加一个水平向右的推力F的作用时，下面叙述的四种情况中，不可能出现的是（　　）

A．物体向右运动，加速度为零　　B．物体向左运动，加速度为零

C．物体加速度的方向向右　　D．物体加速度的方向向左

思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	

续表

适用规律	
物理模型	

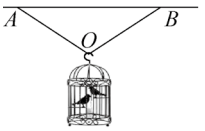
二、动态分析与临界条件的确定

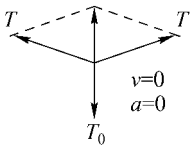
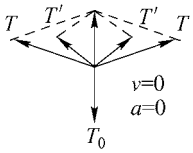
艾爷爷指着挂在阳台上的鸟笼又提出了一个新的问题。

标签4

【例题2】

用一根细绳将鸟笼挂在阳台的天花板上，如果将细绳两端的拴结点A、B的位置相互靠近一些，绳上的拉力会如何变化？



思维操作	解答过程
研究对象	绳上的O点
情境图	 细绳AB对O点施加了两个大小相等，沿绳方向的拉力T。鸟笼挂钩对O点施加了竖直向下的拉力T_0，大小等于鸟与鸟笼的总重
适用规律	牛顿第二定律 、平行四边形法则
运算过程	 由于O点处于静止状态，所以O点所受三个力的合力为零。即两个拉力T的合力应与拉力T_0大小相等，方向相反。可在受力分析图中用平行四边形法则将这个合力画出。在A、B两点相互靠近时T_0的大小和方向始终不变，即矢量平行四边形的对角线不变。这样，可以画出新的矢量平行四边形
分析结果	当拴结点A、B的位置相互靠近时，绳上的拉力T' 变小
会操作	画图时应正确表达各力的方向和大小关系。分析一个变化过程时应注意其中哪些因素是不变的，这是正确画出新的矢量平行四边形的关键

艾爷爷从实验室找来一个软弹簧和一个钩码，将弹簧的上端固定，下端悬挂钩码。然后，用手托起钩码使弹簧恢复原长，如图4-5-2所示。



图4-5-2

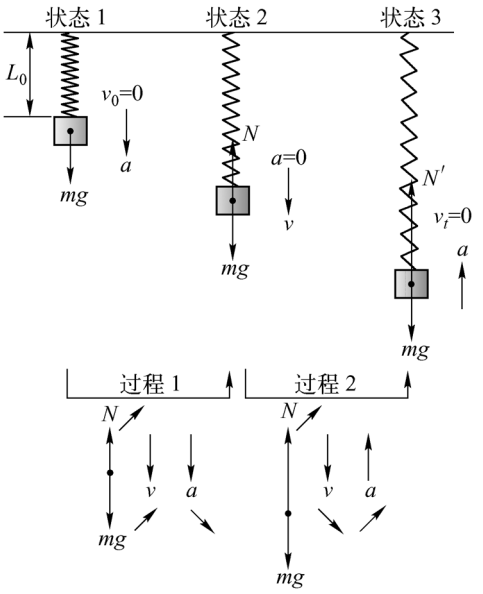


图4-5-3

艾爷爷：“大家想一想，如果这时我突然将手移开，这个钩码会如何运动？”

阿牛：“当然是加速运动呀。”抢先说道。

艾爷爷：“真的吗？”艾爷爷扶了一下老花镜，将手移开。那个钩码开始运动起来。“画出运动情境图来分析一下。”

在艾爷爷的指点和帮助下，三个孩子最终在纸上画出了图4-5-3，并分析如下。

状态1：在释放钩码的瞬间，弹簧为原长，钩码只受重力。初速度为零，加速度向下，即将向下运动。

过程1：钩码向下运动，弹簧变长，弹力增大（弹力小于重力），合力向下且逐渐减小，加速度向下且逐渐减小。速度与加速度同向，速度增大。钩码做加速度减小的加速运动。

状态2：当弹簧弹力等于重力时，合力为零，加速度为零。速度向下且为最大值。

过程2：钩码继续向下运动，弹簧继续变长，弹力增大（弹力大于重力），合力向上且逐渐增大，加速度向上且逐渐增大。速度与加速度反向，速度减小。钩码做加速度增大的减速运动。

状态3：当速度减小为零时，钩码运动到最低点。合力向上且为最大值，加速度向上且为最大值。

小芳：“受力与运动分析方法果真很有效！这么复杂的运动过程分析，我们也不怕了。”高兴地说。

艾爷爷：“呵呵，看来多和我这个老头聊天还是很有益处的。”

我们可以利用计算机模拟钩码的运动过程。

仿真实验操作提示	（1）请将随书附送的多媒体光盘放入电脑中，在“第四章”文件夹中找到“竖直弹簧振子的运动”文件，双击打开 （2）请首先阅读操作提示。点击“实验开始”按钮▶，开始实验 （3）请注意小球受力的变化，并对比分析两个图像之间的关系

接着，艾爷爷指着图4-5-3继续谈起来。

标签1 艾爷爷讲一讲

在钩码的运动过程中，对过程1和过程2中相关物理量的变化情况进行的分析叫做**动态分析**。状态1和状态3是钩码向上或向下运动的始末状态。状态2则是钩码做加速运动或减速运动的中间状态。这些特殊的状态是钩码运动过程中出现的**临界态**。出现这些临界态时，钩码的速度等于零或加速度等于零，这些特征称为**临界条件**。

艾爷爷找来一本书平放在桌面上，又将一块橡皮放在书上。

艾爷爷：“在不接触橡皮的前提下，你们如何把这本书拿出来？”

机灵鬼：“太简单了，用力将书快速抽出不就行啦。”机灵鬼的话音未落，书已经在他手中了。

艾爷爷：“为什么慢慢抽就不行呢？你们能用学过的知识解释这个现象吗？请你们画出运动情境图来分析这个抽书的过程吧。”艾爷爷拿起纸笔边讲边画。

艾爷爷分别对书与橡皮组成的系统和单独的橡皮做了受力与运动分析，如图4-5-4所示。

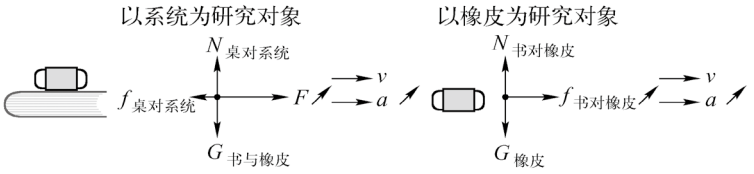


图4-5-4

标签7 标签8

通过实验的体验过程知道，如果对书施加较小的力，是不能将书抽出来的。此时书和橡皮一起运动，有相同的速度和加速度，保持相对静止。从图4-5-4（a）中可以看出，手对系统的拉力F增大时，必然使系统加速度也增大。从图4-5-4（b）中可以看出，书对橡皮的静摩擦力$f_{书对橡皮}$使橡皮产生加速度。由于系统加速度增大，$f_{书对橡皮}$会随之增大，使橡皮的加速度也随之增大。但是静摩擦力是有限的，当它增大到最大值时如果继续增大拉力F，$f_{书对橡皮}$不能继续增大以产生更大的加速度，这时书和橡皮的加速度不再相等，就会发生相对滑动。这样我们就可以将书抽出来了。

标签5

阿牛：“哦，原来如此。$f_{书对橡皮}$达到最大值时也应该叫临界状态吧？之后书的加速度再增大时，书和橡皮就要发生相对滑动了！”

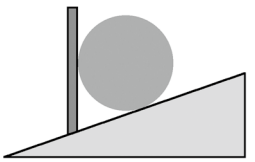
艾爷爷：“好孩子！分析得很好！机灵鬼，书能否被抽出来，是否取决于书的运动快慢呢？”

机灵鬼：“_____①_____”。

标签4

【反馈2】

如右图所示，在固定斜面上放置一个光滑小球，由一个竖直挡板挡住。现将挡板以下端为轴，缓慢地沿逆时针方向转动至水平位置。请分析这个过程中，小球受到的弹力如何变化



思维操作	解答过程
研究对象	

标签8

续表

情境图	
适用规律	
运算过程	
分析结果	

三、连接体与研究对象的选取

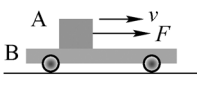
在物理学中，通常将发生力的作用的多个物体组成的系统称之为**连接体**。比如在图4-5-1中的两个物体组成的系统以及在图4-5-4（a）中书和橡皮组成的系统都是连接体。在分析连接体问题时，恰当地选取研究对象，常常可以简化解题过程。 标签2

选取研究对象常用的方法有**整体法**和**隔离法**。整体法是指将系统中几个物体或整个系统视为一个整体考虑，作为研究对象。隔离法是指将系统内的某个物体作为研究对象。合理地运用整体法，突出主要矛盾，往往会使问题得以简化。但整体法的受力分析中，不会出现物体间的相互作用力（内力），这些力只能在隔离法的受力分析中出现，如图4-5-4（b）中书对橡皮的摩擦力。 标签7 标签8

在高中阶段，一般当系统内各物体相对静止时多采用先整体后隔离的方法，而系统内各物体发生相对运动时则多采用隔离的方法。

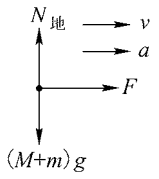
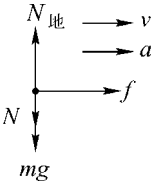
【例题3】

如右图所示，光滑平面有一小车B，其上放一物体A。水平拉力F施于物体A上。已知物体及小车的质量分别为M、m以及A、B之间最大静摩擦力为f_m。为使A与B不发生相对运动，求拉力F的最大值



思维操作	解答过程	
研究对象	系统（即整体）	小车

续表

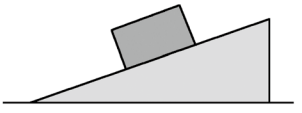
思维操作	解答过程	
研究对象	系统（即整体）	小车
情境图		
适用规律	牛顿第二定律	
物理模型	匀变速直线运动	
特定条件	当$f=f_m$时，F最大	
运算过程	以加速度方向为正方向 整体：$F=(M+m)a$ 小车：$f_m=ma$ 联立方程：$F=\dfrac{M+m}{m}f_m$	
会说话	请结合受力与运动分析图解释本题出现特定条件的原因	

【反馈3】

如图所示，在水平地面上放置一个斜面，一个光滑物块从斜面顶端由静止开始下滑。这一过程中，斜面始终保持静止状态。试分析：

（1）斜面对地面的压力与两者的总重力之间的关系。

（2）地面与斜面之间是否有摩擦力作用？



思维操作	解答过程
研究对象	分别以物块和斜面为研究对象
情境图	
物理模型	
适用规律	

续表

运算过程	
分析结果	

我的训练营

1．如图4-5-5所示，一光滑的小球放在光滑的墙壁和木板之间，当木板与墙壁的夹角逐渐缓慢减小时，则球对墙壁、木板的弹力F_{N1}、F_{N2}的变化是（　　）

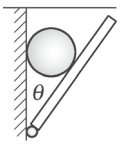


图4-5-5

A．F_{N1}增大，F_{N2}减小　　B．F_{N1}减小，F_{N2}增大

C．F_{N1}、F_{N2}都增大　　D．F_{N1}、F_{N2}都减小

2．一钢球竖直落到直立在地面上的轻质弹簧上，从钢球接触弹簧直到弹簧压缩至最短的过程中，钢球的速度和加速度的变化情况是（　　）

A．速度和加速度都一直逐渐减小

B．速度和加速度都一直逐渐增大

C．速度先增大后减小，加速度先减小后增大

D．速度一直逐渐减小，加速度先减小后增大

3．如图4-5-6（a）所示，A、B两物体质量之比为2:1，以轻绳相连并在向上的恒力F作用下运动。若将A、B位置对调后仍用原来力使它们运动，如图4-5-6（b）所示，前后两次运动中，绳中张力之比是多少？

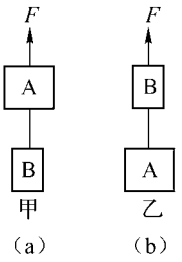


图4-5-6

4．如图4-5-7所示，有A、B两物体，$m_A=2m_B$，用细绳连接后放在光滑的斜面上，在它们下滑的过程中（　　）　　$T=\frac{1}{3}m_Bg\sin\theta$

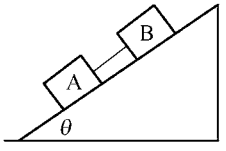
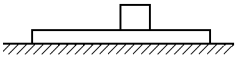


图4-5-7

A．它们的加速度$a=g\sin\theta$　　B．它们的加速度$a<g\sin\theta$

C．细绳的张力$T=0$　　D．细绳的张力

5．如图4-5-8所示，桌上有质量为$M=1$kg的木板，木板上放一质量为$m=2$kg的物体，物体和木板之间、木板和桌面之间动摩擦因数均为$\mu=0.25$，m与M间最大静摩擦力为6N，要将木板从物体下抽出，水平力F至少是多少？


图4-5-8

6．一平直传送带以$v=2$m/s的速率匀速运动，把工件由A处运送到B处，A、B相距$L=10$m，从A处将工件放到传送带上，经过$t=6$s能到B处。求：

（1）工件与传送带之间的动摩擦因数。

（2）如果提高传送带的运送效率，工件能较快地从A处传送到B处，要让工件用最短时间从A处传送到B处，说明并计算传送带的运行速率至少应多大。

我的整理箱

知识的梳理

★

★

方法的形成

★

★

★

结构图

知识体系

思维操作

建立物理情境的思维过程

第一章至第四章知识结构图

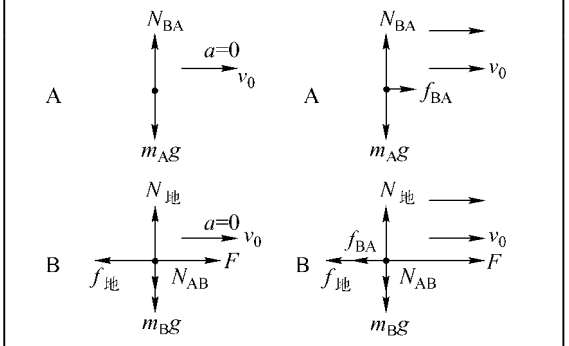
指导篇

一、参考答案

行文补丁

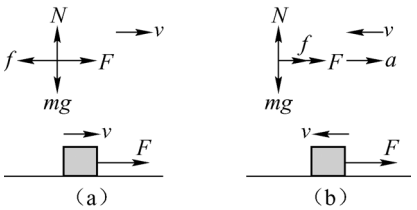
① 书能否被抽出来，并不取决于书的速度，而是取决于书的加速度

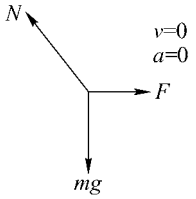
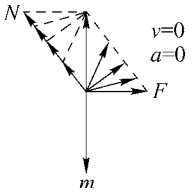
会画图

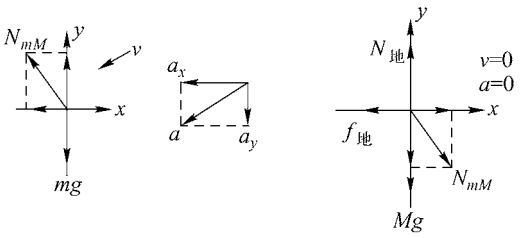


反馈题答案

【反馈1】正确答案：B

思维操作	解答过程
研究对象	物体
情境图	
适用规律	牛顿第二定律、加速和减速运动的规律
物理模型	依题意，物体可能向右运动。由图（a）可知，若推力F与摩擦力f的合力为零，加速度为零，物体向右匀速直线运动；若推力F大于摩擦力f，加速度向右，物体向右做匀加速直线运动；若推力F小于摩擦力f，加速度向左，物体向右做匀减速直线运动 依题意，物体可能向左运动。由图（b）可知，推力F与摩擦力f的合力一定向右，加速度向右，物体向左匀减速直线运动

【反馈2】	
思维操作	解答过程
研究对象	球
情境图	 球受到重力和斜面施加的弹力N，方向垂直于斜面向左上方。挡板对球施加了水平向右的弹力F
适用规律	牛顿第二定律、平行四边形法则
运算过程	 由于挡板转动缓慢，可认为在这一过程中球始终处于平衡态，所以这三个力合力为零。即N与F的合力与球的重力mg相等，方向相反。在受力分析图中用平行四边形法则将这个合力画出。在挡板以下端为轴，缓慢地沿逆时针方向转动至水平位置的过程中，N与F的合力的大小和方向始终不变，即矢量平行四边形的对角线不变，同时N的方向始终不变。这样，可以画出新的矢量平行四边形
分析结果	当F逆时针旋转时，N逐渐减小，F先减小后增大。当F与N（挡板与斜面）垂直时，F最小

【反馈3】	
思维操作	解答过程
研究对象	分别研究：物块、斜面
情境图	物块 斜面 
物理模型	物块：匀加速直线运动 斜面：静止
适用规律	牛顿第二定律、牛顿第三定律

续表

运算过程	由对物块的受力与运动分析可知 $\begin{cases}(N_{Mm})_x = ma_x \\ mg-(N_{Mm})_y = ma_y\end{cases}$ 由对斜面的受力与运动分析可知 $\begin{cases}(N_{mM})_x = f_{地} \\ Mg+(N_{Mm})_y = N_{地}\end{cases}$ 又　$(N_{mM})_x=(N_{mM})_x$，$(N_{mM})_y=(N_{mM})_y$ 所以地面受到的压力有 $\begin{cases}f_{地} = ma_x \\ (M+m)g-N_{地} = ma_y\end{cases}$
分析结果	地面对斜面有静摩擦力，方向向左。地面受到的压力$N=N_{地}$，小于两物体的总重

训练营答案

1．C　2．C　3．1:2　4．AC　5．16.5　6．（1）0.1　（2）$2\sqrt{5}$m/s

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 动态分析　临界态　临界条件　标签1
★ 连接体　标签2

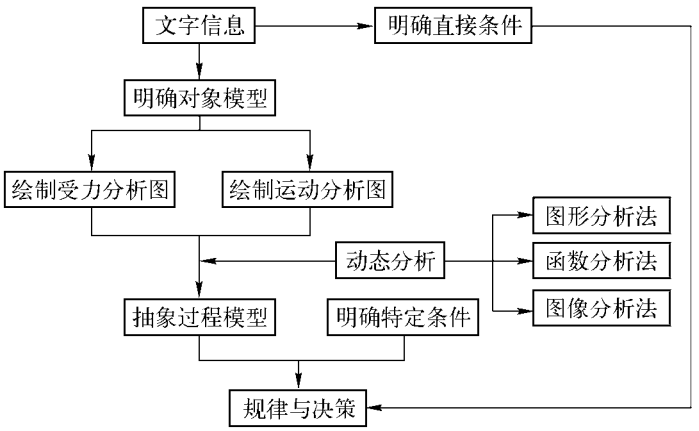
方法的形成

★ 受力与运动分析方法　标签3
★ 动态分析方法：图形分析法　标签4　函数分析法　标签5　图像分析法　标签6
★ 研究对象的选取方法：整体法　标签7　隔离法　标签8

结构图

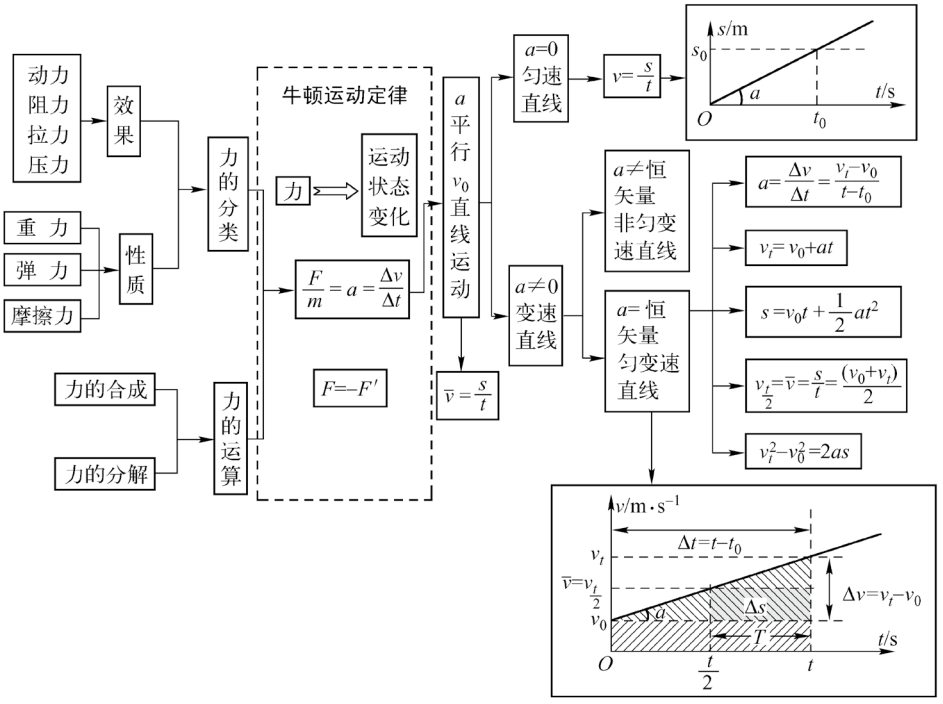
知识体系　思维操作

建立物理模型的思维过程　标签　请在全节中寻找答案



知识体系　　思维操作

第一章至第四章知识结构图　　标签　请在一至四章寻找答案



三、点拨与提高

1. 量变与质变



宇宙中的万事万物都在不断地发展变化着，太阳每日东升西落，一年经历四季更迭，我们经常看到事物不断由量变的积累发展到质变的过程。例如人适当运动有益健康，而劳累过度则会损害身体；适量的降雨使空气清新，万物生长，而过量的降雨则会造成洪水泛滥，万里菏泽。与此类似的是，一个物理事件从发生、发展到结束的过程，也常伴随着一些相关物理量的变化。在这些动态变化过程中，同样可能发生由量变发展到质变的情况。

例如图4-5-3中钩码的速度减小为零时，它的运动方向将发生改变；钩码的加速度减小为零时，它将由加速运动变为减速运动。图4-5-4中，当用力拉动橡皮下面的书时，随着拉力不断增大，书与橡皮间的静摩擦力也会增大，当静摩擦力等于最大值时，将导致原来相对静止的书与橡皮发生相对滑动等。这些由量变到质变的特殊的中间状态就是**临界态**。而出现这些临界态的特征称为**临界条件**。

标签1

在高中阶段，常见的临界条件有**速度为零（v=0）**、**加速度为零（a=0）**、**某力变为零（F=0）**、**静摩擦力达到最大值（$f=f_{max}$）**、**两个运动物体的速度相等（$v_A=v_B$）**等。

2. 动态分析的几种常用方法

分析一个物理过程中相关物理量的变化情况，是建立物理情景，明确物理过程，确定临界状态及临界条件的基础。

常用的动态分析方法有以下三种：

图形分析法：指在物理事件进行的过程中，有关的矢量图形（如：矢量平行四边形、矢量三角形等）、运动轨迹或环境对象等的几何形状会发生变化。通过对这些几何形状的变化分析了解物理过程，从中寻找可能出现的临界条件。例如反馈2中的挡板转动到与斜面垂直时，挡板对小球的弹力出现最小值，这是弹力由减小到增大的临界态。

标签4

函数分析法：指选择某个关键物理量为自变量，在合理区间内取值，依据物理规律分析其他物理量随自变量的变化情况，在量变到质变的过程中发现临界状态，确定临界条件。例如在图4-5-4中，我们以拉力F为自变量，使它从零逐渐增大。根据牛顿第二定律（加速度随合外力变化的函数）判断系统的加速度和橡皮受到的静摩擦力的变化情况。从而发现当静摩擦力达到最大值时，是书与橡皮是否发生相对滑动的临界态。类似的例子还有，图4-5-3中对钩码的速度和加速度变化过程的动态分析以及在第三节例题1中对羽毛的速度和加速度变化过程的动态分析。

标签5

图像分析法：指利用物理图像的手段，依据图像的物理意义，运用数理结合、数形结合的思想分析图像随物理事件发展过程的变化，从而寻找临界状态、确定临界条件的方法。本节的“我的训练营”中的第6题第（2）问中隐含的临界条件就可以采用这一方法加以分析。

标签6

第六节　牛顿运动定律的应用（二）

体验篇

标签1

星期天一大早，机灵鬼就敲开了艾爷爷的家门。



机灵鬼：“艾爷爷，昨天我从您这里回去后，看了一部科幻电影。电影中有这样一个情节：几个宇航员准备乘坐星际飞船去外太空执行任务。在火箭发射时他们的座椅都是平放的，每个人都是平卧姿势，直到飞船进入太空后它们才坐起来。这是为什么呢？

艾爷爷：“观察得很仔细！那就让我们先来做个小实验吧。”只见艾爷爷从衣帽间里拿出一个自家用的体重秤，然后和机灵鬼一起走出家门，来到电梯旁。

艾爷爷：“让我们在电梯中称一称你的体重吧。”说着两人走进了电梯。

实验照片

图4-6-1

体验建议	如果你家也有体重秤，请在电梯行驶过程中用它测量一下你的体重，如图4-6-1所示。请注意电梯运行的不同阶段体重秤的示数如何变化，并将结果记录在下面的表格中。家用体重秤的单位通常是kg，请在填表时换算为N。

表4-6-1　实验记录表

你在家中称量的真实体重：N		
电梯运行阶段	体重秤示数（N）	与真实体重的比较
电梯上行开始阶段		
电梯平稳上行阶段		
电梯上行结束阶段		
电梯下行开始阶段		
电梯平稳下行阶段		
电梯下行结束阶段		

机灵鬼和艾爷爷在电梯里做完实验一起回到了家中。艾爷爷又找来一个空旷泉水瓶，用锥子在瓶子一侧扎了一个小孔。然后用手堵住小孔，向瓶子里灌满水，再拧上瓶盖。

艾爷爷：“我们再来做个实验，请你注意水从小孔中喷出时的距离变化。”说着艾爷爷将堵在小孔上的手指移开，水立刻从小孔中喷出，在空中画出了一条漂亮的弧线。就在这时，艾爷爷突然松开拿着水瓶的左手，水瓶立刻下落。有趣的现象发生了。

体验建议	请你也试试吧。为了观察得更加从容，你可以选择从一个较高的位置释放水瓶，如梯子上 （1）在拧上瓶盖时不要过紧，要能保证外部空气能够自由进入瓶中。想一想为何要这样做？ （2）你也可以将喷水的瓶子突然向上运动，观察喷出的水有何变化。在瓶子上扎孔以及做实验时要注意安全

机灵鬼惊奇地看着艾爷爷的小实验，说：“太有趣啦，我现在就去找阿牛和小芳，也让他们开开眼界！”说完，机灵鬼就拿起水瓶一溜烟跑了出去。

学习篇

一、超重和失重现象



不到一个小时，几个孩子们一起又回到艾爷爷家。

小芳：“艾爷爷，我和阿牛也在电梯里试了试，和刚才机灵鬼的实验现象差不多。”小芳一进门就拿出了自己的实验记录表。

艾爷爷：“是呀，在电梯的运行过程中，体重秤的示数会发生变化。有时和你的真实体重相同，有时会偏大，有时会偏小，你的体重似乎在改变。这种现象就是**超重和失重现象**。”艾爷爷一边说，一边给孩子们倒上了几杯香喷喷的热果汁，又拿出面包放在餐桌上，“吃吧，知道你们一睁开眼就跑来了。”

标签1

艾爷爷：“这种现象，其实用你们学过的物理知识完全能够解释。一会儿吃完早餐，你们根据刚才的实验记录，认真找一找电梯的运动情况和体重秤示数变化情况之间的关系，看看其中有什么规律。”

几个孩子早就饿了，不一会儿餐桌上就已风卷残云了。

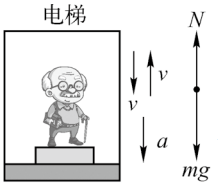


图4-6-2

小芳：“艾爷爷，我和机灵鬼的实验结果都显示，当电梯向上启动时，体重秤的示数都比真实体重大。对于这种**超重现象**，我们可以从对人的受力分析中找到问题的答案。”小芳边说边画出了图 4-6-2。

标签1

小芳：“由于人与电梯一起向上加速运动，所以体重秤对人的支持力一定大于人的重力，这样才有向上的加速度。”

阿牛：“那体重秤的示数为何会变呢，人的体重并没有变化呀。”

小芳：“显然，体重秤测量的其实并不是物体受到的重力，而是体重秤受到的压力。”

会说话

标签2

请你用学过的知识阐述体重秤称量物体重量的测量原理

艾爷爷：“所以，我们把体重秤称量的结果称为**视重**。只有当被测物体处于静止状态或匀速直线运动时视重才等于被测物体真实的重力。因此你们在实验中看到当电梯平稳运行时，体重秤的示数才真实地反映了你们的体重。”

标签2

艾爷爷：“你们再从记录表中找一找，还有哪些阶段出现了超重现象？”

阿牛：“电梯下行结束阶段。我发现无论电梯是上行还是下行，只要人和电梯的加速度方向向上，都会出现超重现象。”

艾爷爷：“说得对，那你们再看看什么时候会出现失重现象呢？”很快，小芳通过比对自己的实验记录，画出受力和运动分析图，并说明了自己的看法。

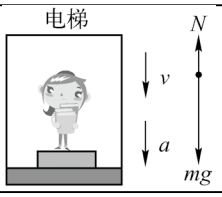
标签1

会画图	会说话
请画出失重时人的受力与运动情境图	请根据你画出的受力与运动分析图，解释失重现象

小芳：“通过刚才的分析，我发现无论电梯是上行还是下行，只要人和电梯的加速度方向向下，都会出现失重现象。而且我还可以利用这些数据，估算电梯当时的加速度。”

【例题1】

小芳在家中称量的体重为480N，当电梯开始下行时，她在电梯中称量的体重是440N，请估算电梯此时的加速度是多大？（g=10m/s^2）

思维操作	解答过程
研究对象	小芳
情境图	
物理模型	匀加速直线运动
适用规律	牛顿第二定律
运算过程	$mg-N=ma$ $a=\frac{480-440}{48}=0.83\text{m/s}^2$
分析结果	结果单位正确，数值与实际相符
会操作	记住解题的这六个规范操作步骤！ 确信你能独立重复

艾爷爷：“我们不妨做这样一个假设：如果电梯做自由落体运动，体重秤的示数又将是多少？”

机灵鬼：“是零！”毫不迟疑地回答。

标签1 **艾爷爷：**“是的。这时我们的视重为零，这种状态叫做**完全失重**。那么，那个矿泉水瓶在自由下落时，水为何不再喷出了呢？”

机灵鬼：“如果水瓶自由下落，这时瓶中的水向下的加速度为g，水与瓶壁不再有相互作用力。没有了压力，水自然不再喷出了。”

【反馈1】

2003年10月15日，我国成功地发射了“神舟”五号载人宇宙飞船。发射飞船的火箭全长58.3m，起飞时总质量M_0=479.8t。发射的初始阶段，火箭竖直升空，航天员杨利伟有较强的超重感，仪器显示他对座椅的最大压力达到体重的5倍。求发射的初始阶段（假设火箭总质量不变），火箭受到的最大推力（g=10m/s^2）

续表

思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	
适用规律	
运算过程	
分析结果	

艾爷爷：“航天员血管中的血液就像水瓶中的水，在人体剧烈地加速运动时，也会出现类似的情况，这会对宇航员的生命安全造成危害。我这里有一份记者对航天员杨利伟的一次采访报导。你看了之后就会明白飞船在发射时，宇航员为何要采用平卧姿势了。”艾爷爷边说边找出了一份旧报纸。

机灵鬼赶忙接了过来。（详情参阅本节后的点拨与提高）。



小贴士

请翻到本节最后的“拓展阅读”，读一读吧！

二、运用动力学观点分析问题的一般方法



阿牛：“艾爷爷，最近物理老师给我们布置了几道作业题，我的求解结果经常和答案不一样，不知是为什么。您能帮我找找原因吗？”阿牛一边说一边将自己带来的作业本递到了艾爷爷手中。

艾爷爷：“你的作业只有计算的过程和结果，对于分析和求解物理问题而言，光有这些是不够的。”

三个孩子听到这里，都用不解的目光注视着艾爷爷。

艾爷爷自然明白孩子们在想什么，于是拿起纸笔画了起来，如图4-6-3所示。

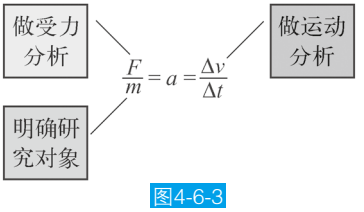


图4-6-3

牛顿第二定律的表达式中有三个物理量，这就要求我们首先明确研究对象，以确定研究对象的质量m，然后要做好受力分析，这样才能明确是哪个（些）力产生加速度。与此同时，还要对物体做运动分析，分析速度、速度变化和加速度，从而明确物体的运动过程模型。从图4-6-3中我们不难看到，加速度将物体的受力情况与运动情况联系起来，所以**运用动力学观点分析物理问题的关键是：确定物体**

的受力和加速度，并要明确这个加速度是由何力引起的。

艾爷爷：“这些是解题前必须完成的准备工作，解题过程不是简单机械地套公式的过程。我们可以将这一思维和求解过程概括如下。”

标签4 **运用动力学观点分析问题的一般方法：**

① 选取研究对象（整体法或隔离法）。

② 对研究对象进行受力和运动分析，画出受力与运动分析图及过程情境图（受力情境图的绘制方法请参阅第三章，运动情境图的绘制方法请参阅第一章）。之后建立正交直角坐标系，分解各力。依据牛顿第一和第二定律判断物体受力情况与运动情况之间的对应关系，明确加速度是由何力引起的。

③ 根据受力分析，列出动力学方程（牛顿第二定律方程）。根据运动分析，列出运动学方程（匀变速运动规律方程）。

④ 明确求解所必要的特定条件。

⑤ 求解方程。

⑥ 对结果进行必要的分析或检验。

艾爷爷：“我们可以通过一个具体的问题，对这一思考过程加以说明。”艾爷爷为孩子们出了一道题。

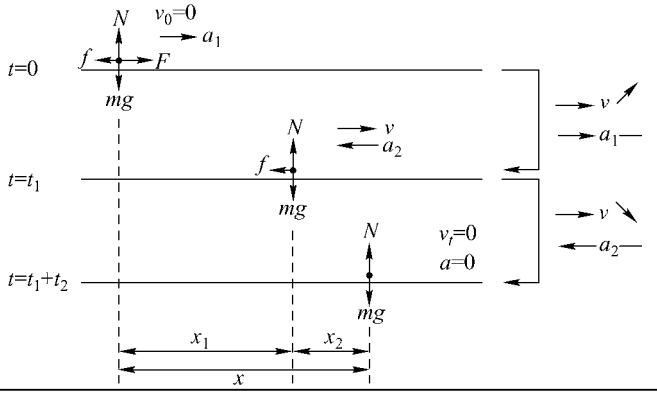
【例题2】

一个质量为m=50kg的木箱，置于水平地面上，木箱与地面间的动摩擦因数μ=0.2，若对木箱施加大小为150N的水平方向的的拉力F作用，由静止开始运动4s，（g=10m/s^2）求：

（1）木箱运动的加速度多大？

（2）4 s末木箱的速度多大？

（3）4 s末撤去拉力F，木箱还能滑行多远？

思维操作	解答过程
研究对象	木箱
情境图	
物理模型	对象模型：质点 过程模型：匀加速直线运动、匀减速直线运动
适用规律	牛顿第二定律、匀变速直线运动规律

续表

特定条件	时空关系 $\begin{cases} t=t_1+t_2 \\ x=x_1+x_2 \end{cases}$　初末速度均为零
决策	根据题目已知条件，可将匀减速运动过程等效为反向的由静止开始的匀加速运动，以简化方程的求解
运算过程	匀加速运动阶段 $\begin{cases} F-f=ma_1 & ① \\ N-mg=0 & ② \\ f=\mu N & ③ \end{cases}$　匀加速运动阶段 $\begin{cases} x_1=\frac{1}{2}a_1t_1^2 & ④ \\ v=a_1t_1 & ⑤ \end{cases}$ 匀减速运动阶段 $\begin{cases} f=ma_2 & ⑥ \\ N-mg=0 \\ f=\mu N \end{cases}$　匀减速运动阶段 $\begin{cases} x_2=\frac{1}{2}a_2t_2^2 & ⑦ \\ v=a_2t_2 & ⑧ \end{cases}$ 由①、②、③式可解木箱运动的加速度a_1=1m/s^2，代入⑤式可解4s末木箱的速度v=4m/s；利用②、③、⑥式可解a_2，代入⑦、⑧式可解x_2=4m，即4 s末撤去拉力F，木箱还能滑行4m
分析结果	我们可以将以上结果代入④式，可解x_1=8m。由空间关系可知，木箱运动全过程的位移为12m；由时间关系可知，木箱运动全过程经历的时间为6s
会操作	请注意情境图的绘制方法，它是其他操作步骤的前提和依据，是求解过程中的关键性步骤，请确认你能够独立完成

【反馈2】

某运动员乘坐热气球以5m/s的速度匀速上升，热气球与运动员的总质量为170kg。当热气球上升到距地面60m的高度时，运动员为了加快上升速度，将一个质量为10kg的沙袋从气球上轻轻释放。求：（不计空气阻力，g取10m/s^2）

（1）经过多长时间沙袋落地？

（2）沙袋落地时，热气球距地面的高度是多少米？

思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	

续表

物理模型	
适用规律	
特定条件	
决策	
运算过程	
分析结果	

仿真实验操作提示	请将随书附送的多媒体光盘放入电脑中，在“第四章”文件夹中找到“从上升气球中掉落物体的运动”文件，双击打开。根据操作提示开始实验，观察物体从气球上掉落后如何运动

我的训练营

1．跳高运动员从地面跳起，这是由于（　　）

A. 运动员给地面的压力等于运动员受的重力

B. 地面给运动员的支持力大于运动员给地面的压力

C. 地面给运动员的支持力大于运动员受的重力

D. 地面给运动员的支持力等于运动员给地面的压力

2．升降机的弹簧测力计上端固定于顶板上，下端挂一重物，升降机匀速运动时，弹簧测力计的示数为G，后来发现其示数比G大了，则升降机运动的可能是（　　）

A．向上加速运动或向下加速运动　　B．向上减速运动或向下加速运动

C．向下加速运动或向下减速运动　　D．向下减速运动或向上加速运动

3．一辆小车在光滑的水平面上，若用一水平力F_1拉它，它的速度在0.5s内从0.4m/s增大到0.8m/s；若用水平力F_2拉它，它的速度在0.3s内从0.5m/s减小到0.2m/s，那么F_1和F_2的大小之比是_____。

4．在粗糙的水平面上用水平恒力F推动质量为m的物体，由静止开始运动，经过了3s撤去外力后，又经过2s物体停止运动，则物体与水平面的动摩擦因数是多少？

5．如图4-6-4所示，一个物体放在光滑的水平面上，处于静止。从某一时刻t=0起，受到如图4-6-4所示的力F的作用，设力F的正方向为向北，物体的质量为m=10kg。物体在5s末的位移大小是____，方向_____；速度大小是____，方向_____；物体在10s末的位移大小是____，方向_____；速度大小是_____，方向_____。

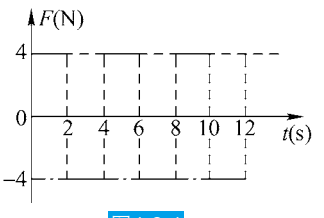


图4-6-4



我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

方法的形成

★

★

结构图

知识体系　　思维操作

分析物理问题的思维结构

指导篇

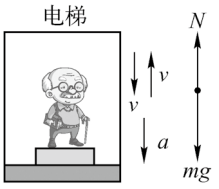
一、参考答案

行文补丁

会说话

当被测物处于静止状态（或匀速直线运动）时，由牛顿第二定律可知，物体的重力G与所受支持力N相等。牛顿第三定律表明，物体受到的支持力N与体重秤受到的压力N'大小相等。所以此时体重秤的示数（受到的压力）在数值上等于物体的重力

会画图

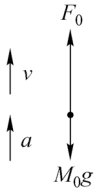
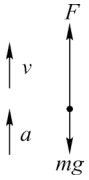


会说话

若电梯向下加速运动或向上减速运动，即加速度向下时，由牛顿第二定律可知，人受到的支持力小于重力。根据牛顿第三定律，体重秤的示数反映了体重秤受到的压力大小，它等于人受到的支持力。所以此时体重秤的示数小于人的真实体重

反馈题答案

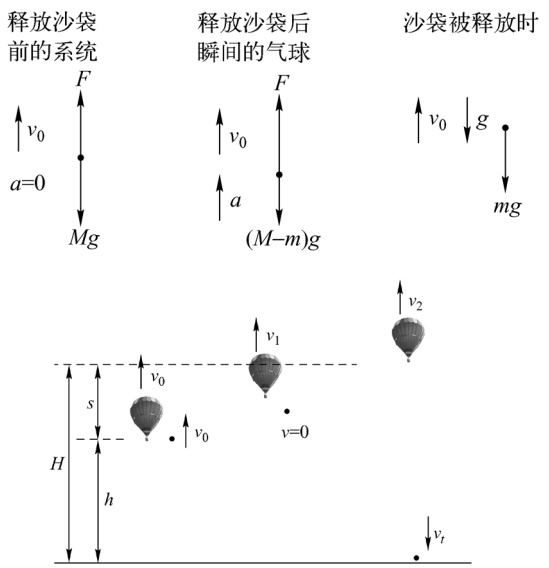
【反馈1】

思维操作	解答过程	
研究对象	火箭飞船系统	杨利伟
情境图		
物理模型	匀加速直线运动	
适用规律	牛顿第二定律 牛顿第三定律	
运算过程	设：火箭加速度为a，杨利伟对座椅的压力F'=5mg，火箭最大推力为F_0 联立方程 $\begin{cases} F-mg=ma \\ F_0-M_0g=M_0a \\ F=F'=5mg \end{cases}$ 解得 $F_0=2.4\times10^7\ \mathrm{N}$	
分析结果	结果单位正确，数值与实际相符	

【反馈2】

思维操作	解答过程
研究对象	系统　热气球（包括运动员）　沙袋

续表

情境图	
物理模型	匀加速直线运动 竖直上抛运动
适用规律	牛顿第二定律 匀变速直线运动规律
特定条件	时空关系：$\begin{cases} t = t_{气球} = t_{沙袋} \\ H = h + s \end{cases}$ 沙袋被轻轻释放时，与热气球的速度相同
决策	沙袋的竖直上抛运动时间可以全程求解
运算过程	释放沙袋前系统匀速上升：$F = Mg$　① 释放沙袋后的气球匀加速上升 $\begin{cases} F-(M-m)g=(M-m)a & ② \\ s=v_0t+\frac{1}{2}at^2 & ③ \end{cases}$ 沙袋释放后做竖直上抛运动：$-h=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$　④ 由④式得t=4s，由①②两式可解得$a=\frac{1}{16}g$，将结果代入③可解得s=25m。由空间关系得H=85m
分析结果	结果计算正确，单位正确

训练营答案

1．CD　2．D　3．2∶5　4．$3F/5mg$　5．1.8m，向北，0.4m/s 向北，4m，向北0. 8m/s

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 超失重现象　超重　失重　完全失重　　标签1
★ 重力测量原理　视重　　标签2
★ 惯性参考系　　标签3

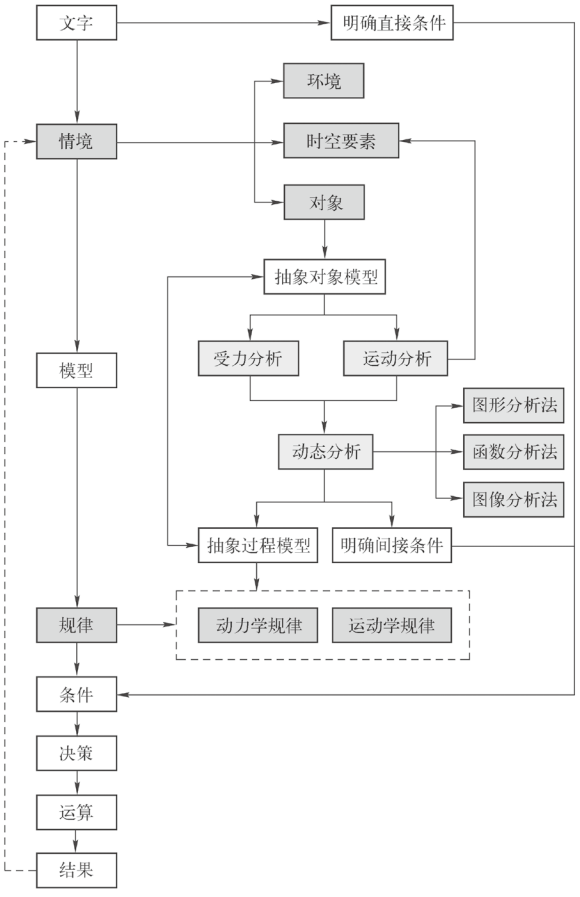
方法的形成

★ 运用动力学观点分析问题的一般方法　　标签4
★ 分析物理问题的思维结构　　标签　请在各章中寻找答案

结构图

知识体系　　思维操作

分析物理问题的思维结构　　标签　请在各章中寻找答案



三、点拨与提高

1. 分析物理问题的思维结构



在分析和解决高中物理问题时，我们发现无论题目的难易程度和类型特点如何变化，往往都要大致经历8个思维环节：文字→情境→模型→规律→条件→决策→运算→结果。这样我们就可以找到一种解决高中物理问题的通解通法，使我们的学习收到事半功倍的效果。下面，我们以学习篇中的反馈2为例，来说明这一

方法。与这一问题相关的思维结构图请参见本节的整理箱提示之“结构图”。

文字：一道物理题往往以文字形式呈现，为我们提供了诸多信息。我们做题应从读题开始，从文字中获取有用信息。这些信息主要包括直接条件和间接条件。譬如“热气球以5m/s的速度匀速上升”就是直接条件。我们可以直接确定热气球的初速度和加速度。而“从气球上轻轻扔下”则是间接条件，它表明沙袋在被扔下时与热气球的速度是相同的。间接条件的明确往往是较为困难的，需要我们在建立物理情境，分析物理过程中运用动态分析的方法捕捉到它，这在上一节的“点拨与提高”中已经详细地讨论了。

情境：情境是一个物理事件在头脑中的形象化反映，建立情境是解决物理问题的前提和重要的思维过程。构成情境的要素有：对象、环境及时间与空间要素。例如在反馈2中，热气球（包括运动员）和沙袋就是这个热气球升空事件中的对象，而地面是与这一问题相关的环境。时空要素是指对象在何时运动到何位置，这一问题是要通过运动分析才能明确的。为了清晰地表达这些情境要素，我们需要绘制一张正确的情境图。

模型：模型主要分为三类：对象模型、条件模型和过程模型。我们已经认识了质点、理想弹簧、理想绳等对象模型；光滑表面、均匀介质等条件模型；以及如匀速直线运动、匀变速直线运动、自由落体运动等过程模型。我们在物理学中学到的物理规律，都是针对物理模型而言的。当我们要分析求解一个现实物理事件时，我们必须首先从中抽象出对象模型、条件模型和过程模型。在反馈2中，我们可以将热气球（包括运动员）和沙袋抽象为质点。通过对热气球（包括运动员）和沙袋的受力与运动分析抽象出在扔出沙袋后，热气球（包括运动员）向上做匀加速运动，而沙袋做竖直上抛运动。抽象模型的过程是整个思维结构中的核心环节，很多同学经常忽视这一思维过程，结果满盘皆输！例如想当然地认为气球仍然匀速上升，而沙袋做自由落体运动等。

规律：到目前为止，对于描述物理模型的规律而言，我们主要学习了匀变速直线运动规律和牛顿运动定律。以后我们还要继续学习其他几个核心力学规律。每一种过程模型，均有对应的一个或多个规律可以描述，我们应找到所有可以运用的规律。例如，对于扔出沙袋后的热气球可以运用牛顿第二定律和匀变速运动规律加以描述。

条件：我们要梳理、归纳题目给出的直接条件和通过动态分析等手段捕捉到的间接条件。当我们能运用所学物理规律对一个物理事件中的模型进行正确的描述，并且归纳了特定条件之后，这个问题一定是可解的。

决策：在找到模型对应的规律之后，我们要根据题目给出的直接条件和分析得出的间接条件，找到一种最简洁的方法将题目已知量和未知量关联起来，再求解。在反馈2中，扔出后的沙袋做竖直上抛运动，我们可以先解出上升阶段的时间和高度，再求解下落阶段的时间，最后求出总时间。但也可以运用位移公式描述运动的全过程，这种方法显然更加简单。

运算：我们在确定了最简求解方法之后，应正确地将规律和条件逐一表达，列出足够的方程，并求解方程。

结果：求解出结果之后，我们应对它做出必要的分析和讨论。如结果是否合乎实况，单位是否正确等。有时对于一些较为复杂的问题，某些计算或估算结果是准确建立情境的依据。这种情况在第二章出现过。

2. 牛顿运动定律与惯性参考系

在第一章的学习中，我们知道描述一个物体的运动需要首先选择一个参考系，选择不同的参考系，可能会对物体的运动观察出不同的结果。在运用牛顿运动定律时，是否也可以任意选

择不同的参考系呢？让我们来看看下面的例子。

阿牛在一列匀速行驶的火车上，他在平滑的小桌上放了一个小钢球，小钢球与桌子相对静止，这时小球水平方向不受力。我们若以地面为参考系，小钢球匀速直线运动；若以火车为参考系，小钢球是静止的。此时牛顿运动定律都是符合的。

如果火车突然刹车减速，我们会发现小钢球相对桌子开始向前运动。我们若以地面为参考系，小钢球仍然匀速直线运动，牛顿运动定律仍然成立。但若以火车为参考系，小球在水平方向没有受力的情况下却向前加速运动，这显然不符合牛顿运动定律了。

在物理学中，我们把牛顿第一定律成立的参考系称为**惯性参考系**，简称惯性系。在研究地面附近的物体运动时，地面或相对地面匀速运动的参考系通常都可以作为惯性系。在上述例子中，以变速运动的火车为参考系，牛顿第一定律不成立，这样的参考系叫做**非惯性参考系**。显然，牛顿第二定律同样只在惯性参考系中成立。而大量实践表明牛顿第三定律无论在哪一种参考系中均是成立的。

标签3

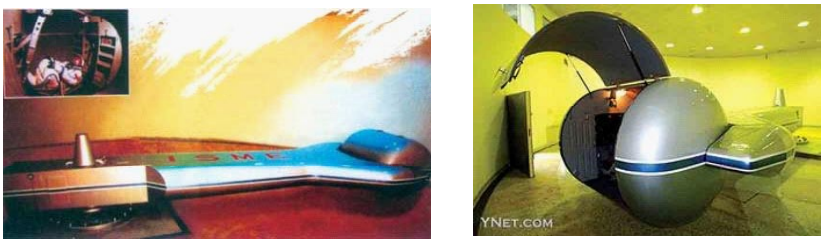
拓展阅读

“最大的压力是承受加速度。”据杨利伟介绍，在载人航天飞行训练中，超重耐力训练是对航天员自我极限的最大挑战。记者了解到，“超重耐力”训练要求航天员在承受8倍于自身体重的重力条件下，保持正常的呼吸和思维能力。“空军飞行员训练时要求做到人体自重5倍重力的加速度，持续时间为2至3秒。而航天员的训练则要求超载达到人体自重8倍重力的加速度，持续时间为40至50秒。”

8倍的重力加速度是个什么概念？杨利伟举例说，玩过山车时经历的刺激是2倍多一点的重力加速度概念。因此，在进行8倍重力加速度训练时，离心机（图4-6-5）像一只巨大的铁钳，紧紧夹住旋转舱，在圆形的超重实验室里飞速旋转。转瞬之间，航天员全身的血液好像被甩到脊柱上，五脏六腑好像被压成了一张薄薄的纸片。

“每次训练，在强大作用力下，航天员都会脸部肌肉变形、呼吸困难、眼泪会不由自主地流下……但没有一人在训练时请求过暂停。”为了让航天员和工作人员之间保持“互动”，在每个航天员的手中有一个爆鸣器，在训练中感觉到不适应的状况，航天员按下爆鸣器，工作人员就会停止操作。但杨利伟透露，在长达8年的训练中，他和他身边的战友们没有一个人按下过爆鸣器，只有工作人员自己根据监测到的各项生理指标停止操作。“理想、信念和执著深深刻在每个航天员的心里，坚持是每一个航天员的品质。”在诸多训练中，14名航天员都表现出惊人的毅力，不打退堂鼓，全部通过测试要求。

注：本文摘自《三秦都市报》



训练超重耐力的离心机

图4-6-5

参考文献：http://news.sina.com.cn/c/2005-10-02/17067921936.shtml

http://www.sina.com.cn 2005年10月02日17:06三秦都市报

检测篇

一、检测题

1．关于运动和力的说法中正确的是（　　）

A．同一物体受的合外力越大，它的速度就越大

B．同一物体受的合外力越大，它的惯性就越小

C．同一物体受的合外力越大，它的速度改变量就越大

D．同一物体受的合外力越大，它的速度改变就越快

2．一根轻绳一端固定在天花板上，另一端悬挂一盏灯保持静止，则以下说法正确的是（　　）

A．绳对灯的拉力与灯对绳的拉力是一对平衡力

B．绳对灯的拉力与灯对绳的拉力是一对作用力和反作用力

C．绳对灯的拉力与灯受到的重力是一对平衡力

D．绳对灯的拉力与灯受到的重力是一对作用力和反作用力

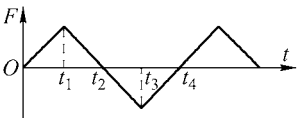
3．质量为m的物体悬挂在升降机的顶板上，当悬线对物体的拉力为$0.8mg$时，升降机可能的运动是（　　）

A．向上做加速运动　　B．向下做减速运动

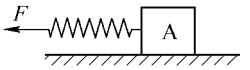
C．向上做减速运动　　D．向下做加速运动

4．质点所受的合外力F随时间变化的规律如右图所示，力的方向始终在同一直线上。已知$t=0$时质点的速度为零。在下图的各时刻中，哪一时刻质点的速度最大?（　　）

A．t_1　　B．t_2　　C．t_3　　D．t_4



5．如右图所示，质量为m的物体A和一个轻质弹簧水平相连，弹簧劲度系数为k，用水平恒力F拉着弹簧，使物体A在水平面上以加速度a加速运动，弹簧的伸长量为x，物体与地面之间的动摩擦因数为μ。则以下关系正确的是（　　）



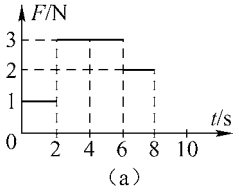
A．$a=\dfrac{F-kx}{m}$，同时有$x=\dfrac{F+\mu mg}{k}$　　B．$a=\dfrac{F}{m}$，同时有$x=\dfrac{F-\mu mg}{k}$

C．$a=\dfrac{kx-\mu mg}{m}$，同时有　$x=\dfrac{F}{k}$　　D．$a=\dfrac{F-\mu mg}{m}$，同时有$x=\dfrac{F-\mu mg}{k}$

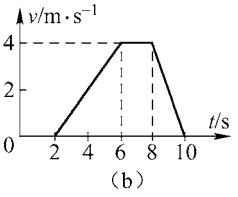
6．在粗糙程度相同的水平面上，一物体在水平力F作用下运动，其水平力随时间t变化的图像及物体运动的v–t图像如下图（a）和（b）所示。由两个图像可知（　　）

A．物体的质量为3 kg　　B．2～6s物体的加速度为1m/s^2

C．10s内物体的位移为20m　　D．物体受到的滑动摩擦力大小为3N



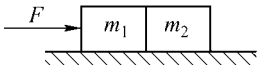
（a）



（b）

7．一质量为1kg的物体由静止开始下落，所受阻力大小恒定。经1s落到地面，落地时速度为8m/s，则物体下落时的加速度大小为____ m/s^2，物体所受的阻力大小为____N。

8．如下图所示，两个物体质量分别为 m_1=2kg和m_2=1kg，紧靠在一起并排放在水平面上，物体与水平面间的动摩擦因数均为0.2，如果对m_1施以向右的水平推力F=15N，则m_1、m_2的加速度大小是_____m/s^2；m_1与m_2之间的相互作用力大小是_____N。



9．质量为m的物块放在倾角为θ的斜面上，恰好匀速下滑。则物块受到的滑动摩擦力大小为_____；若在斜面的底端给物块一个沿斜面向上的初速度v_0，则物块沿斜面向上滑行的最大位移为_____。（重力加速度为g）

10. 质量为2kg的物体受到沿斜面向上12N的拉力时，物体以6m/s的速度沿斜面匀速运动，若斜面倾角为37° 且足够长，求将外力撤去后，物体沿斜面还能上滑多大距离？

二、检测题答案

1．D　2．BC　3．CD　4．B　5．C　6．BC　7．8，2　8．3，5

9．$mg\sin\theta$，$\dfrac{v_0^2}{4g\sin\theta}$　10．3.0m

我的收藏夹

Chapter 5

第五章　曲 线 运 动

学习指导语

想确定物体做什么运动，非常简单，你只需要关注两个物理量：加速度a与初速度v_0。当a与v_0共线时，物体做直线运动；当a与v_0不共线时，物体做曲线运动。

本章是牛顿运动定律在曲线运动中的应用。将坐标系的原点与做曲线运动的质点重合，沿速度方向和垂直速度方向建立坐标轴，沿速度方向的加速度改变物体速度大小，垂直速度方向的加速度将改变速度方向，然后再利用运动的合成与分解，就可以把复杂的曲线运动“化繁为简”了。

需要提醒的是，在匀速圆周运动中要根据实际运动的轨迹找到圆心和半径。

第一节　曲 线 运 动

体验篇

艾爷爷：“孩子们，被抛出的铅球、链球做什么样的运动？”艾爷爷用手指着田径场内比赛的运动员问道（如图 5-1-1 和图 5-1-2 所示）。

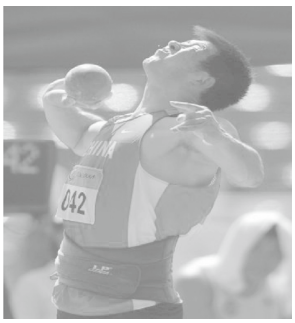


图5-1-1

本图摘自：
http://sports.china.com/zh_cn/sportsnews/other/zt/dongya05/4/11040840/20051105/images/12821092_20051105103035992060 0.jpg



图5-1-2

本图摘自：http://i2.sinaimg.cn/ty/o/2009-06-12/1244787163_l4Dr0W.jpg

阿牛：“轨迹是曲线，是变速运动。”



艾爷爷：“曲线运动很常见。”艾爷爷边说边在桌面上铺了一张白纸，拿出一个小陀螺，用手一捻，小陀螺在白纸上飞快地转了起来。艾爷爷取出红色墨水挤了一滴在飞转的陀螺上。瞬间，墨水被甩了出去，落在白纸上如图 5-1-3 所示。



图5-1-3

艾爷爷：“你们认真研究一下墨水在白纸上留下的痕迹，看看有什么特点？”

体验建议	重复艾爷爷的小实验，观察实验现象。

学习篇

一、曲线运动速度的方向

艾爷爷：“通过分析小陀螺实验的现象，你们能说出做曲线运动的物体在某一时刻的速度方向吗？”



阿牛：“看起来速度方向与运动的轨迹相切。艾爷爷，能证明吗？”

艾爷爷点了点头，拿出笔在白纸上画了图（图 5-1-4 所示）。

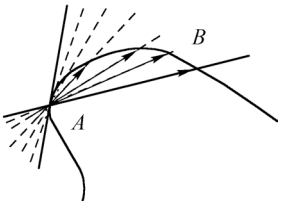


图5-1-4

标签5 标签4 标签1 **艾爷爷**：“和瞬时速度的研究方法类似，我们取两个点 A、B，根据 $v=\frac{s}{t}$，速度方向应该是割线 AB 的方向。$t\to 0$ 时，割线 AB 趋近于曲线过 A 点的切线。”

二、物体做曲线运动的条件

标签5 **艾爷爷**：“说说让它做直线运动、曲线运动的方法。”说着，艾爷爷拿起一个玻璃球向远处抛去。

小芳：“不考虑风的影响，竖直向上抛、竖直向下抛、从静止松手，玻璃球都会做直线运动；向前抛，向斜上方抛，向斜下方抛等，玻璃球都会做曲线运动。”

标签3 **艾爷爷**：“如果把它们运动的过程通过频闪相机拍摄下来，如图 5-1-5 所示，忽略阻力，请在图上画出物体每个位置的速度和加速度方向。”

会画图

请你画出小球在不同位置的受力分析（不计空气阻力）和运动分析

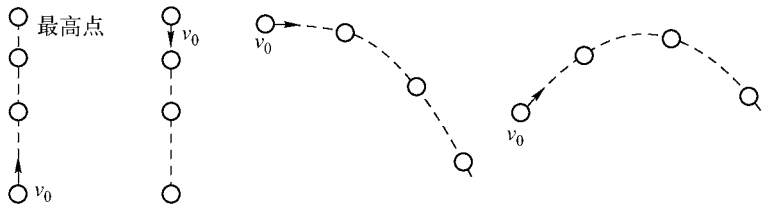


图5-1-5

艾爷爷：“机灵鬼，从初速度和加速度的关系入手，归纳一下钢球做直线、曲线运动的条件是什么。”

机灵鬼：_____①。 标签2

可以用仿真实验室模拟一下刚才的实验过程。

标签3 标签5 仿真实验操作提示	（1）在电脑中放入随书附送的多媒体光盘，在“第五章”文件夹中找到“物体做曲线运动的条件”实验文件，双击打开，开始实验 （2）通过拖拽屏幕上的运动速度初速度和加速度箭头，设置小球的初速度和加速度的大小和方向。让小球分别做竖直上抛、竖直下抛、水平抛出和斜向上抛 （3）点击“开始”按钮，开始实验

会说话

请你将物体做曲线运动的条件对你的同学或自己说一遍

下面我们就应用物体做曲线运动的条件来解决几个问题。

【例题 1】

关于曲线运动，下列说法中正确的是（　）

A. 曲线运动一定是变速运动

B. 变速运动一定是曲线运动

C. 曲线运动不可能是匀变速运动

D. 变加速运动一定是曲线运动

思维操作	解答过程			
依据	（1）**物体做曲线运动的特点**：速度方向在时刻变化 （2）**曲线运动的条件**：合外力（或加速度）与速度不在一条直线上			
条件和分析	A	B	C	D
	物体做曲线运动时速度方向时刻变化，一定是变速运动	物体运动速度变化可能是大小变化、方向变化，或者大小方向同时变化	匀变速运动的条件：加速度恒定。这与曲线运动的条件无关	变加速运动的条件：加速度变化。这与曲线运动的条件无关
结论	正确	错误	错误	错误
会说话	请将这个问题的每个选项以“依据、条件和分析、结论”的方式对你的老师、同学或自己说一遍			

【反馈 1】

关于曲线运动，下列说法中正确的是（　）

A. 做曲线运动的物体的速度方向必定变化

B. 速度变化的运动必定是曲线运动

C. 加速度恒定的运动不可能是曲线运动

D. 加速度变化的运动必定是曲线运动

思维操作	解答过程			
依据				
条件和分析	A	B	C	D
结论				

【例题 2】

质点在三个恒力 F_1、F_2、F_3 的共同作用下保持平衡状态，若突然撤去 F_1，而保持 F_2、F_3 不变，则质点（　　）

A. 一定做直线运动

B. 一定做曲线运动

C. 一定做匀变速运动

D. 一定做非匀变速运动

思维操作	解答过程			
依据	（1）曲线运动的条件：合外力（或加速度）与速度不在一条直线上 （2）牛顿第二运动定律			
条件和分析	A	B	C	D
	根据共点力平衡的条件可知，撤去 F_1 后，F_2 和 F_3 的合力 F 一定与 F_1 方向相反，大小相等。即合力 F 是恒力			
	无法确定合力 F 与速度是否共线	无法确定合力 F 与速度是否共线	合力 F 是恒力，所以加速度恒定	合力 F 是恒力，所以加速度恒定
结论	错误	错误	正确	错误
会说话	请将这个问题的每个选项以“依据、条件和分析、结论”的方式对你的老师、同学或自己说一遍			

【反馈 2】

一个质点受到恒力 F_1 的作用，由静止开始运动，保持恒力 F_1 不变，突然又增加一个方向与 F_1 的方向垂直的恒力 F_2 的作用。则该质点此后（　　）

A. 仍然做直线运动

B. 可能做变加速直线运动

C. 一定做曲线运动

D. 一定是匀变速运动

思维操作	解答过程			
依据				
条件和分析	A	B	C	D
结论				



1. 关于曲线运动，下列说法中正确的是（　　）

A. 物体做曲线运动时，它所受到的合力一定不为零
B. 做曲线运动的物体，有可能处于平衡状态
C. 做曲线运动的物体，速度方向一定时刻改变
D. 做曲线运动的物体，受到的合外力的方向有可能与速度方向在一条直线上

2. 一质点做曲线运动，在某一时刻，它的速度方向、加速度方向，以及所受的合外力的方向的关系是（　　）
A. 速度、加速度、合外力的方向有可能都相同
B. 加速度与合外力的方向一定相同
C. 加速度方向与速度方向一定不同
D. 速度方向与合外力方向可能相同，也可能不同

3. 一个质点受到两个互成直角的力 F_1、F_2 作用，由静止开始运动，若运动中保持二力方向不变，但 F_1 突然增大到 $F_1+\Delta F$，则质点此后（　　）
A. 一定做匀变速曲线运动
B. 在相等的时间内速度的变化一定相等
C. 可能做匀速直线运动
D. 可能做变加速曲线运动

4. 一物体由静止开始下落一小段时间后，突然受一恒定水平风力的影响，但着地前一小段时间风突然停止，则其运动轨迹的情况可能是（　　）



我的整理箱

知识的梳理

★

★

方法的形成

★

★

结构图

知识体系

思维操作

物体做曲线运动时速度方向的研究方法

判断物体是否做曲线运动的逻辑思维过程

指导篇

一、参考答案

行文补丁

① 机灵鬼：加速度和初速度共线时物体做直线运动，加速度和速度不共线，物体做曲线运动。

会画图

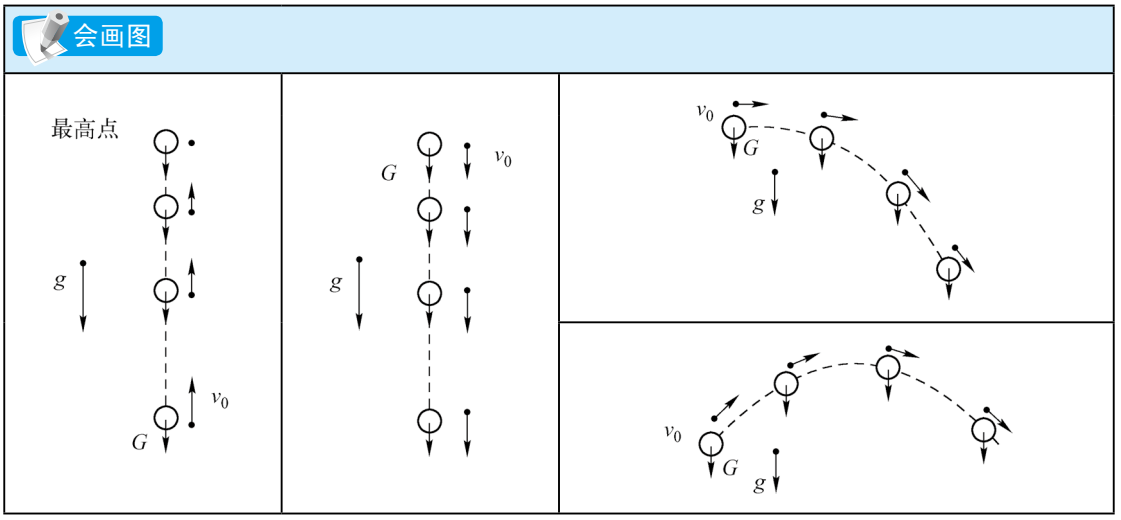


图5-1-6

反馈题答案

【反馈 1】　正确答案：A				
思维操作	解答过程			
依据	物体做曲线运动的特点：速度方向在时刻变化 曲线运动的条件：合外力（或加速度）与速度不在一条直线上			
条件和分析	A	B	C	D
	物体做曲线运动时速度方向在时刻变化	物体运动速度变化可能是大小变化、方向变化，或者大小方向同时变化	与曲线运动的条件无关	与曲线运动的条件无关
结论	正确	错误	错误	错误

【反馈 2】　正确答案：CD				
思维操作	解答过程			
依据	物体做曲线运动的条件			
条件和分析	A	B	C	D
	F_2 与 F_1 的合力方向与质点的运动方向不在一条直线上，一定做曲线运动	F_2 与 F_1 的合力为恒力，所以加速度恒定	F_2 与 F_1 的合力方向与质点的运动方向不在一条直线上，一定做曲线运动	F_2 与 F_1 的合力为恒力，所以加速度恒定
结论	错误	错误	正确	正确

训练营答案

1. AC　2. BC　3. AB　4. C

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 曲线运动的速度方向如何确定　标签1

★ 物体做曲线运动的条件是什么　标签2

方法的形成

★ 比较、归纳法　标签3

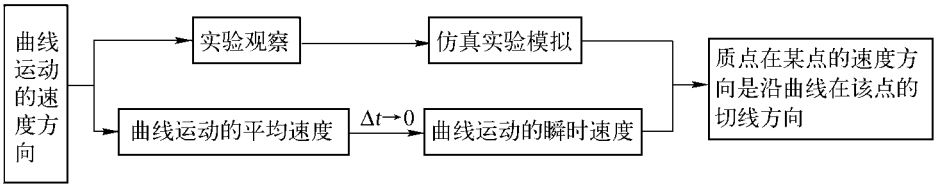
★ 极限法　标签4

结构图

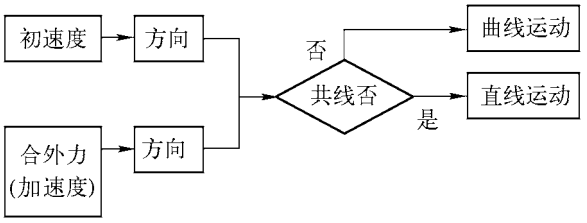
知识体系

思维操作

物体做曲线运动时速度方向的研究方法 标签5



判断物体是否做曲线运动的逻辑思维过程 标签6



三、点拨与提高



1. 切向加速度和法向加速度

曲线运动中，尽管在曲线上不同位置的弯曲程度往往不同，但在研究时，可以把这条曲线分割为许多很短的小段，质点在每小段的运动都可以看做圆周运动的一部分，如图 5-1-7 所示。当质点运动到曲线上一点 P 时，它所受合外力与速度不在一条直线上，合外力产生的加速度根据作用效果可以分解为沿切线方向的加速度 a_τ 和垂直于切线指向凹面方向的加速度 a_n。加速度 a_τ 只改变速度的大小，加速度 a_n 只改变速度的方向。如果物体的切线方向的加速度 a_τ 为零，指向圆心加速度 a_n 为定值，则物体做匀速圆周运动。

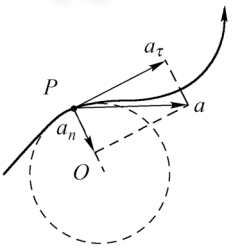


图5-1-7

2. “香蕉球”成因探秘

你喜欢观看足球比赛吗？在球场上发定位球时，运动员踢出去的足球有时会在空中划出一道美妙的弧线，然后直飞进网窝（图 5-1-8 和图 5-1-9）。这就是所谓的“香蕉球”。你知道“香蕉球”是怎样形成的吗？

原来，运动员踢出足球时，一方面使它向前运动，另一方面又使它绕竖直轴转动（设旋转方向和前进方向如图 5-1-10（a）所示）。若从上向下看，如图 5-1-10（b）所示，由于足球的自转，足球表面附近有一层空气被球带动做同一方向的运动。结果，造成足球 A、B 两侧附近空气相对于球的速度不相等，A 侧附近空气的流速大于 B 侧附近空气的流速。根据流体的速度越大压强越小的关系可知，空气对足球 B 侧的压强大于对 A 侧的压强，从而使足球的 A、B 两侧形成一个压力差，其合力的方向由 B 指向 A。正是这个压力差，使足球偏离了原来的运动方向，形成了一条形如香蕉的路线。



图5-1-8

本图片来自：http://sports.sina.com.cn/j/2009-10-31/17324673736.shtml



图5-1-9

本图片来自：http://sports.sina.com.cn/c/p/2007-09-15/20133171444.shtml

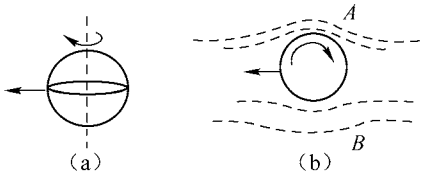


图5-1-10

第二节　质点在平面内的运动

体验篇



艾爷爷拿出一张心电图给大家看过。

艾爷爷：“考考你们，这条纸带是怎样画出来的？”

阿牛：“我看过，心电图机（图 5-2-1）上的记录笔上下画，就画出来了。”

艾爷爷：“打字的记录笔上下记录，只能打出重在一条竖线上的心电图。得到这张心电图离不开送纸的滚筒。滚筒匀速转动，就可以得到一幅二维的心电图了。如图 5-2-2 所示。”



图5-2-1　心电图机

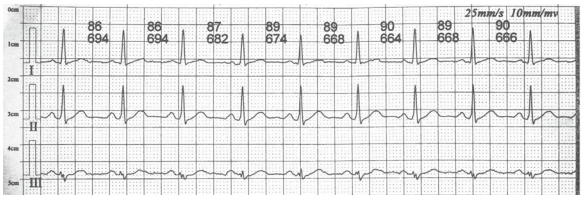


图5-2-2　心电图纸带

小芳：“哦！我家打印机卡纸时打出的字就是重在一起的，原来是这么回事啊！”

艾爷爷：“这节我们来研究一下这两个运动是怎么合二为一的。”

体验建议	两位同学配合操作，一位同学匀速拉动白纸，一位同学手拿笔。第一次用笔尖压在纸上不动，第二次让笔在垂直白纸运动方向上下运动。注意观察分析笔在纸上留下的痕迹，看能得到哪些信息。

学习篇

一、合运动与分运动



艾爷爷拿出一张纸画了几笔如图5-2-3所示。

艾爷爷：“从河边的 A 处渡河，船头正对 B 处，请问船能到达 B 处吗？”

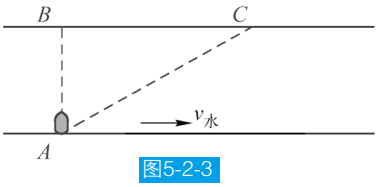


图5-2-3

小芳：“不能，由于河水流速的影响，实际船会到 B 处的下游。”

标签3

阿牛：“我补充一下，建立一个坐标系，以 A 处为坐标原点，河岸方向为 x 轴，AB 方向为 y 轴，如图 5-2-4 所示，船速为 v_1，但由于水速 v_2 的叠加，实际渡河速度为 v。船的总位移方向为 s。”

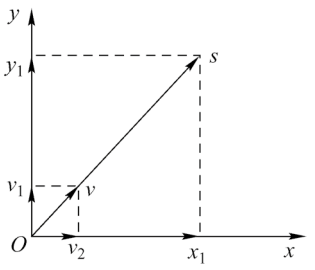


图5-2-4

标签1

艾爷爷：“阿牛答得漂亮！实际渡河运动＝水不动时船的运动＋水的运动，是两个彼此独立的运动叠加的结果，这两个运动共同影响渡河的结果。实际渡河运动叫**合运动**，静水中船的运动和水的运动叫**分运动**。合运动和分运动是我们在描述同一事件采取的不同视角，可以彼此替代。描述运动我们使用的位移、速度、加速

度等都是矢量，叠加时满足平行四边形法则。

最终船的运动是由合运动决定的。如果设静水中的船速 $v_{船}$ 和水流速度 $v_{水}$ 都不变，在图 5-2-5 中我们会发现，船头指向不同的方向 $v_{船1}$、$v_{船2}$、$v_{船3}$，船会沿不同方向 v_1、v_2、v_3 航行，船到达对岸的时间和位置也不同。

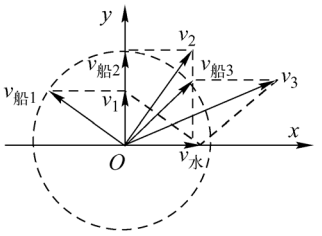


图5-2-5

二、运动的合成与分解的应用

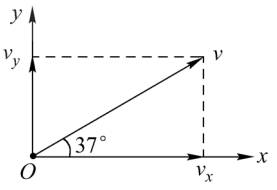
已知分运动求合运动，叫做**运动的合成**。已知合运动求分运动，叫做**运动的分解**。运动的合成与分解在生产、生活和科技中有着广泛的应用。

标签2

【例题 1】

标签4

飞机起飞时 v=300km/h 的速度斜向上飞，飞行方向与水平方向的夹角为 37° 。求水平方向的分速度 v_x 和竖直方向的分速度 v_y

思维操作	解答过程
研究对象	飞机
情境图	会画图  
物理模型	匀速直线运动
适用规律	平行四边形定则
运算过程	$v_x = v\cos 37° = 240\text{km/h}$ $v_y = v\sin 37° = 180\text{km/h}$

【反馈】

降落伞下落一段时间后的运动是匀速的。没风的时候，跳伞员着地的速度是 4m/s。现在有风，风使他以 3m/s 的速度沿水平方向向东运动，问跳伞员将以多大的速度着地？这个速度的方向如何？

思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	
适用规律	

续表

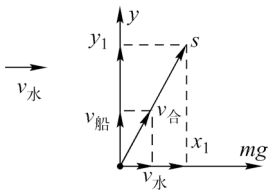
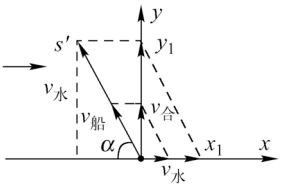
特定条件	
运算过程	

【例题 2】

一条河宽为 d，河水流速为 $v_{水}$，小船的静水航速为 $v_{船}$，且 $v_{船}>v_{水}$。请问：

（1）小船如何过河用时最短，最短时间是多少？

（2）小船如何过河距离最短，多长时间到达对岸？

思维操作	解答过程	
研究对象	小船	
情境图		
物理模型	匀速直线运动	匀速直线运动
适用规律	平行四边形定则	平行四边形定则
特定条件	当船头正对河对岸，$v_{船}$垂直河岸时，用时最短 $y_1=d$	当合速度方向垂直河岸时小船到达正对岸，过河距离最短 $y_1=d$
运算过程	小船过河最短时间 $t=\frac{d}{v_{船}}$	合速度 $v=v_{船}\sin\alpha$ 渡河时间 $t=\frac{d}{v}=\frac{d}{v_{船}\sin\alpha}$ 并且 $\cos\alpha=\frac{v_{水}}{v_{船}}$

阿牛：“我发现渡河的时间取决于垂直河岸方向的速度的大小”。

小芳：“船速与水速相等的时候能否到正对岸 B 处？”

机灵鬼：“不能，如图 5-2-6 所示，船速与水速相等的时候，船头越向上游偏，船的实际航向越接近垂直河岸的方向，当船速与水速反向时船就不动了，不可能垂直到达对岸。”

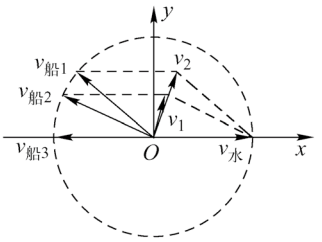
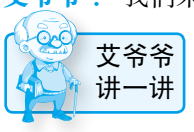


图5-2-6

阿牛：“如果船速比水速还小，什么时候航程最短？”

艾爷爷：“我们来研究一下船速小于水速的情况吧。”

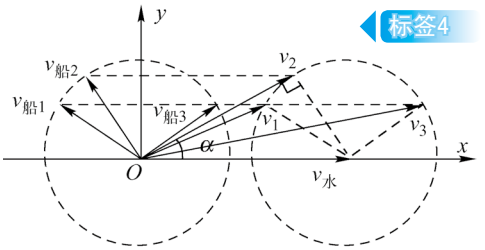


如图 5-2-7 所示，当船在静水中的航行速度 $v_{船}<v_{水}$，则不论船的航行方向（船头的指向）如何，总要被水冲向下游，那么，怎样才能使飘向下游的距离最小，从而使航程最短呢？

如图 5-2-7 所示，以 $v_{水}$矢量末端为圆心，以 $v_{船}$的大小为半径作圆，当合速度的方向与圆相切，

合成运动方向与水流方向的夹角 α 最大，过河距离最短。$\sin\alpha=\frac{v_{船}}{v_{水}}$，最短航程为 $s=\frac{d}{\sin\alpha}=\frac{v_{船}}{v_{水}}d$

现在，我们可以通过计算机仿真技术来模拟小船过河的过程。



标签4

图5-2-7

仿真实验操作提示	请在电脑中放入随书附送的多媒体光盘，在“第五章”文件夹中找到“小船过河”实验文件，双击打开，开始实验

我的训练营

1．雨滴在下落一定时间后的运动是匀速的。设没有风时，雨滴着地的速度为 4m/s。现在有风，风可给雨滴 3m/s 的水平向西的速度。试求此时雨滴着地的速度大小。

2．设空中的雨滴从静止开始下落，遇到水平方向吹来的风，下列说法中正确的是（　）

A. 风速越大，雨滴下落的时间越长

B. 雨滴下落时间与风速无关

C. 风速越大，雨滴着地时的速度越大

D. 雨滴着地速度与风速无关

3．如图 5-2-8 所示，河宽 AB=16m，河水向右匀速流动，速度大小为 v_1=1.5m/s。有只小机动船，在静水中的行驶速度 v_2=2.0m/s。现此船从 A 点开始渡河。求：

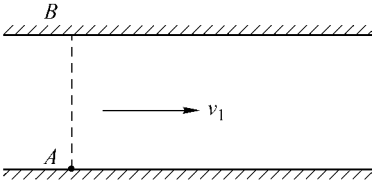


图5-2-8

（1）为使船在最短时间达到对岸，其船头应朝哪个方向行驶？

（2）渡河最短时间是多少？若水流速度突然增加，渡河的最短时间是否改变？

（3）若船能够以最短的时间渡河，则在行驶中，船向对岸的速度是多大？方向如何？

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

方法的形成

★

★

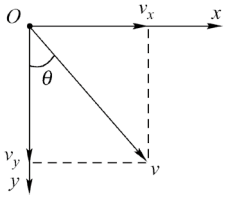
结构图

知识体系	思维操作
运动合成与分解的逻辑关系图	

指导篇

一、参考答案

反馈题答案

【反馈】	
思维操作	解答过程
研究对象	降落伞和跳伞员
情境图	 会画图
物理模型	匀速直线运动
适用规律	平行四边形定则
特定条件	两个分运动分别在水平方向和竖直方向
运算过程	着地速度 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=5\text{m/s}$ 设着地速度与竖直方向夹角为 θ，$\tan\theta=\frac{v_x}{v_y}=\frac{3}{4}$，所以着地速度与竖直方向夹角 $\theta=37°$

训练营答案

1. 5m/s　2.BC　3.（1）船头始终垂直河岸行驶　（2）渡河最短时间 $t=8\text{s}$, 不变　（3）2.5m/s，与河岸成 53° 角

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 合运动与分运动　标签1

★ 运动的合成与分解　标签2

★ 应用平行四边形解决运动的合成与分解问题　标签3

方法的形成

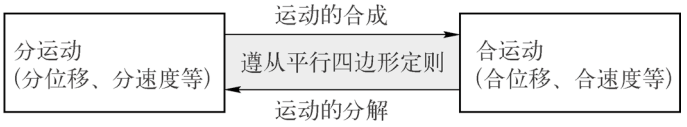
★ 建立二维坐标系研究曲线运动　标签3

★ 作图法解题　标签4

结构图

知识体系　　**思维操作**

运动合成与分解的逻辑关系图



三、点拨与提高

艾爷爷讲一讲

两个直线运动的合运动的性质和轨迹的判断

两个互成角度的直线运动的合运动的性质和轨迹，由合初速度与合加速度的关系决定。判断方法如图 5-2-9 和表 5-2-1 所示。

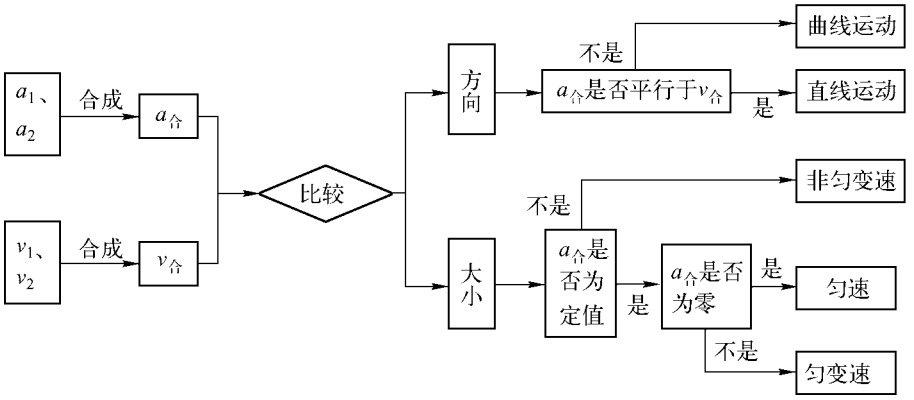
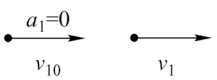
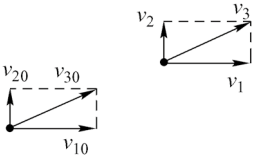
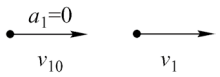
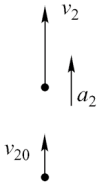
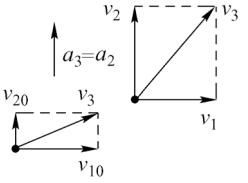
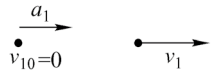
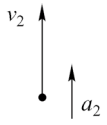
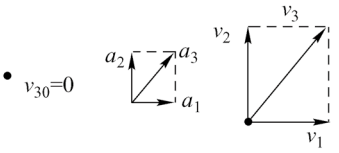
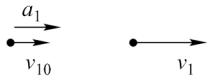
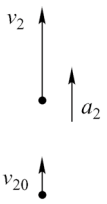
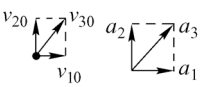
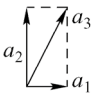


图5-2-9　两个直线运动的合成

表5-2-1　互成角度的两个直线运动的合运动的几种可能情况

组合类型	分运动 1	分运动 2	合运动
1	匀速直线运动 1  会画图	匀速直线运动 2  	匀速直线运动 3  沿合速度 v_{30} 方向直线运动

续表

组合类型	分运动 1	分运动 2	合运动
2	匀速直线运动 1 	匀变速直线运动 2 	匀变速曲线运动 3  a 与 v_{30} 不共线，曲线
3	匀加速直线运动 1 	匀加速直线运动 2  $v_{20}=0$	匀加速直线运动 3  a 与 v_{30} 共线，直线
4	匀加速度直线运动 1 	匀加速直线运动 2 	a_3 与 v_{30} 共线，直线  a_3 与 v_{30} 不共线，曲线 

现在，我们可以通过计算机仿真技术来模拟运动的合成情景。

仿真实验操作提示	请在电脑中放入随书附送的多媒体光盘，在“第五章”文件夹中找到“运动的合成”实验文件，双击打开，开始实验

第三节　抛体运动的规律

体验篇



阿牛：“艾爷爷，您看这张照片（图 5-3-1），据说是柯受良飞跃黄河的照片，怎么才能保证一定能飞过去呢？”

机灵鬼：“车的速度越快飞得越远。”

艾爷爷：“机灵鬼说的是一方面。飞跃黄河要具备超人的勇气和精湛的驾驶技术，但是也离不开技术师的精心设计，设备的科学安装，还有风力等环境因素的影响。”

艾爷爷从柜子里找出一段细管，把一头接在水龙头上，打开水龙头，一股细流从管中涌出，如图 5-3-2 所示。

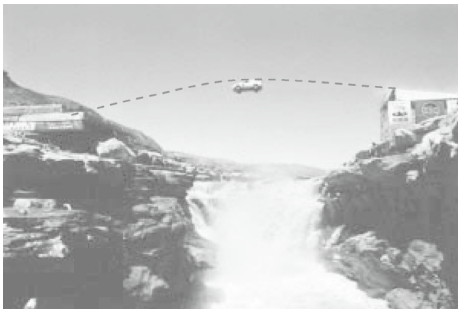


图5-3-1

1997 年 6 月 1 日，柯受良飞越了黄河壶口瀑布
http://news.sina.com.cn/s/2009-02-12/151117202216.shtml



图5-3-2

艾爷爷：“你们也来做个小实验，体验一下让水滴飞跃的感觉。”

体验建议	（1）准备一段细的软水管，接在水龙头上 （2）使出水端保持水平，观察水流的形态。改变水流的大小，观察水流的形态变化 （3）保持水流不变，改变出水端角度，观察射程的变化

学习篇

一、什么是平抛运动



将物体以一定的速度抛出，如果不计空气阻力的作用，物体只受重力作用，它的运动叫做**抛体运动**。如果抛体运动的初速度是沿水平方向的，这个运动叫做**平抛运动**。平抛运动是高中物理中的重要过程模型。

标签1

机灵鬼：“飞车做的是抛体运动，刚才的实验中出水端水平时水滴做平抛运动。”

艾爷爷：“物体的运动是由初速度和加速度共同决定的，沿初速度方向的加速度只能改变速度的大小，因此做曲线运动的物体在垂直于速度的方向一定有加速度。下面我们一起来分析前面的飞车问题！”

二、平抛运动的规律

阿牛：“飞车问题太复杂了，我们怎么研究？”

艾爷爷：“任何一个实际问题都是复杂的，物理学家的工作就是在复杂的问题中，抓住主要矛盾，忽略次要矛盾，简化问题，建立模型，研究规律。在研究飞车的过程中，还要以牛顿定律为核心，分析受力和运动。我们来画个图梳理一下吧。”

很快孩子们和艾爷爷一起讨论后达成共识，如图 5-3-3 所示。

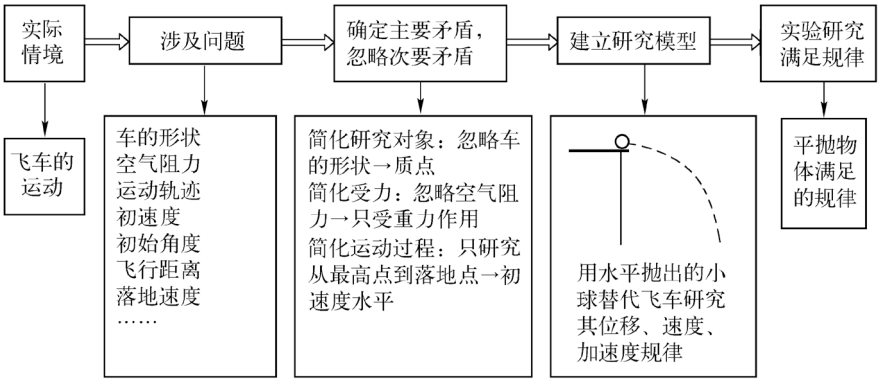


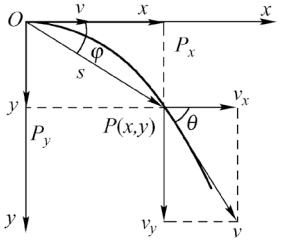
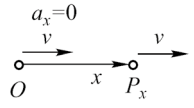
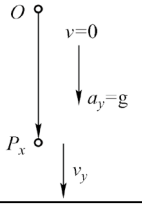
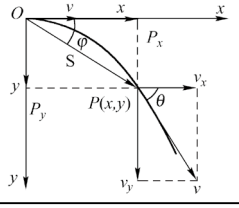
图5-3-3

小芳：“建立模型过程真有趣！下面就可以通过实验研究小球的平抛来获知飞车的运动了！科学家就是这样研究实际问题的吗？”

艾爷爷：“是呀，我们都经历一把当科学家的过程。”

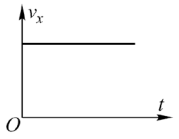
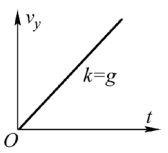
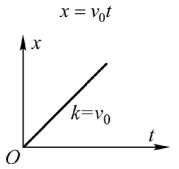
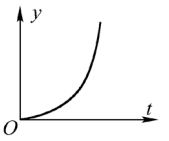
大家兴致勃勃，做了很多次实验，归纳出平抛的规律，见表 5-3-1。

表5-3-1　抛体运动的研究

研究水平抛出的小球的位移、速度、加速度规律			
思维操作	解答过程		
实际运动情境图	 会画图		
研究对象	小球		
物理模型	从 O 点到 P 点，平抛运动		
特定条件	初速度水平，只受重力		
满足规律	牛顿运动定律		
决策	建立坐标系把平抛运动沿初速度方向和垂直初速度方向分解		
平抛运动满足的规律	水平方向 x	竖直方向 y	合运动
运动模型	匀速度直线	自由落体	平抛
分运动、合运动情境图	 会画图		

标签3　标签2

续表

研究水平抛出的小球的位移、速度、加速度规律			
加速度	0	g（竖直向下）	g（竖直向下）
速度	$v_x = v_0$ 	$v_y = gt$ 	$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$ 与 x 方向夹角 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}$
位移	$x = v_0t$ 	$y=\frac{1}{2}gt^2$ 	$s=\sqrt{x^2+y^2}$ 与 x 方向夹角 $\tan\varphi=\frac{y}{x}$

由水平位移公式 $x= v_0t$ 和竖直位移公式 $y=\frac{1}{2}gt^2$ 得到平抛运动的轨迹方程 $y=\frac{g}{2v_0^2}x^2$

机灵鬼：“这不就是初中学过的二次函数 $y=ax^2$ 吗？它的轨迹是抛物线啊！”

艾爷爷：“对！‘抛物线’名称就是这样得到的。”

平抛物体运动的轨迹是一条抛物线。

速度偏向角 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{gt}{v_0}$

位移偏向角 $\tan\varphi=\frac{y}{x}=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{2v_0}$

$\tan\theta = 2\tan\varphi$

我们把位移关系图和速度关系图放在一起，如图 5-3-4 所示，把速度矢量 v 反向延长，交 x 轴于 P 点，结合前面的推论 $\tan\theta=2\tan\varphi$ 会发现，P 点是水平位移 x 的中点。这是一个重要的结论，以后还会用到的。

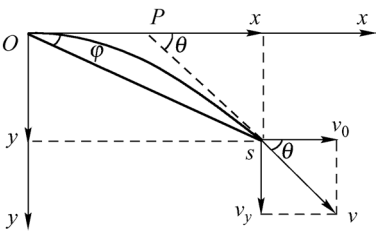


图5-3-4

艾爷爷：“我们把平抛运动这样复杂的曲线运动转化为两个你熟悉的直线运动：匀速直线运动＋自由落体运动，这就是‘化繁为简、化曲为直’的思想。”

机灵鬼：“科学家的思想真是太了不起了！”

会说话

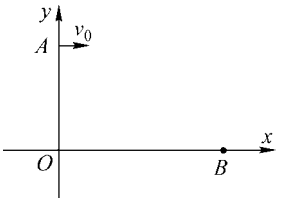
请将物体做平抛运动的规律对你的同学或自己说一遍

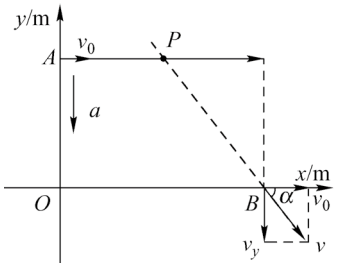
【例题】

一直角坐标系的 y 轴在竖直方向上，如右图所示。现将一个小球从 y 轴上坐标为（0，h）的 A 点以平行于 x 轴的方向抛出，其抛出速度为 v_0，最后小球能够通过 x 轴上的 B 点

（1）利用作图法确定小球通过 B 点时的速度方向并画在图上

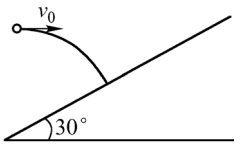
（2）计算小球通过 B 点时速度的大小和方向



思维操作	解答过程
研究对象	把小球视为质点作为研究对象
情境图	会画图  依据，小球做平抛运动，速度矢量的反向延长线交水平位移中点。可以确定小球通过 B 点时的速度方向 步骤： （1）根据 A、B 的位置画水平位移 x 如左图 （2）确定水平位移的中点 P （3）连接 P、B 两点 （4）沿 PB 方向画出速度 v 如左图
物理模型	平抛运动模型
适用规律	平抛运动规律
决策	由 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$ 可知，要想求出 v 需要先求出 v_y 的大小 方法 1：先由 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 求出小球下落的时间 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$，再利用 $v_y=gt$ 求出小球竖直方向的速度 方法 2：直接利用 $v_y^2-0=2gh$ 求出 $v_y=\sqrt{2gh}$ 两种方法没有优劣之分，下面我们采用第二种方法进行求解
运算过程	（1）如情境图 （2）根据 $v_y^2-0=2gh$，可求出竖直速度分量 $v_y=\sqrt{2gh}$ 由此可得 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{v_0^2+2gh}$ 小球经过 B 点时速度与 x 轴夹角 α 的正切 $\tan\alpha=\frac{v_y}{v_0}=\frac{\sqrt{2gh}}{v_0}$
分析结果	（1）作图法应用平抛模型的重要推论，确定速度方向 （2）速度方向要明确与坐标轴的夹角

【反馈 1】

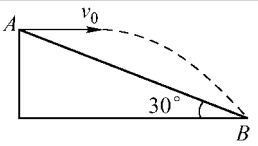
如右图所示，以水平初速度 v_0=10m/s 的抛出的小球，飞行一段距离后，垂直撞在倾角为 θ =30° 的斜面上，求小球完成这段飞行的时间 $t_。$（g=10m/s^2）



思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	
决策	
运算过程	
分析结果	

【反馈 2】

如右图所示，AB 为斜面，倾角为 30° ，小球从 A 点以初速度 v_0 水平抛出，恰好落到斜面底端 B 点，求物体在空中飞行的时间和 A、B 间的距离



思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	

续表

决策	
运算过程	

仿真实验操作提示	请在电脑中放入随书附送的多媒体光盘，在“第五章”文件夹中找到“平抛运动”实验文件，双击打开，开始实验

仿真实验操作提示	请在电脑中放入随书附送的多媒体光盘。在“第五章”文件夹中找到“飞机投弹”实验文件，双击打开，开始实验

我的训练营

1．在地面附近某一高度处水平抛出一个物体（不计空气阻力），物体抛出后，以下说法正确的是（　）

A．加速度大小不变，方向改变　　B．加速度大小和方向都不变

C．速度大小改变，方向不变　　D．速度大小和方向都改变

2．关于平抛物体的运动，下列说法正确的是（　）

A．由 $t=\frac{x}{v_0}$ 知，物体平抛的初速度越大，飞行时间越短

B．由 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$ 知，物体下落的高度越大，飞行时间越长

C．任意连续相等时间内，物体下落高度之比为 1 ∶ 3 ∶ 5…

D．任意连续相等时间内，物体运动速度改变量相等

3．一架飞机水平匀速飞行。从飞机上每隔 1s 释放一个铁球，先后共释放 4 个。若不计空气阻力，从地面上观察 4 个小球，下面说法正确的是（　）

A．在空中任何时刻总是排成抛物线，它们的落地点是等间距的

B．在空中任何时刻总是排成抛物线，它们的落地点是不等间距的

C．在空中任何时刻总在飞机正下方，排成竖直的直线，它们的落地点是等间距的

D．在空中任何时刻总在飞机正下方，排成竖直的直线，它们的落地点是不等间距的

4．平抛一物体，当抛出 1s 后它的速度与水平方向成 45° 角，落地时速度方向与水平方向成 60° 角。（$g=10\text{m/s}^2$）求（1）初速度；（2）落地速度；（3）开始抛出时距地面的高度；（4）水平射程。

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

★

方法的形成

★

结构图

知识体系

平抛运动的知识结构图

思维操作

解决平抛运动的思维流程图

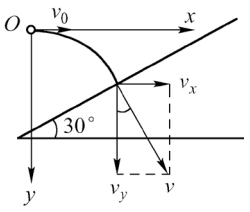
指导篇

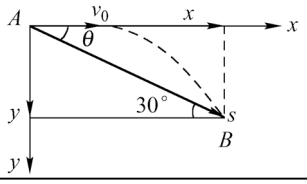
一、参考答案

反馈题答案

【反馈 1】	
思维操作	解答过程
研究对象	把小球视为质点作为研究对象

续表

情境图	 会画图 注意建立直角坐标系，分速度、合速度的大小关系是由平行四边形确定的，不能任意画
物理模型	平抛运动
适用规律	平抛运动规律
特定条件	小球垂直撞在斜面上
决策	因为小球垂直撞击斜面，由此可知 v_y 与 v 的夹角也为 30° 。所以可以利用平抛运动中的关于速度偏向角公式进行求解
运算过程	由情境图可得，$\tan 30°=\frac{v_x}{v_y}=\frac{v_0}{gt}$ 则小球完成这段飞行的时间 $t=\frac{v_0}{g\tan 30°}=\sqrt{3}\text{s}\approx 1.73\text{s}$
分析结果	小球垂直撞在斜面上，利用此刻瞬时速度与斜面垂直建立起速度偏向角与斜面底角的关系，不能随便套用位移偏向角

【反馈 2】	
思维操作	解答过程
研究对象	把小球视为质点作为研究对象
情境图	 会画图 注意分位移、合位移的大小关系是由平行四边形确定的，不能任意画
物理模型	平抛运动
适用规律	平抛运动规律
特定条件	恰好落到斜面底端 B 点
决策	由情境图可知，小球落到 B 点时的位移 s 与水平位移 x 的夹角 θ 等于斜面的倾角，即 30° 。所以可以利用位移偏向角公式进行计算
运算过程	设小球在空中飞行时间为 t。由情境图可得 $\tan 30°=\frac{y}{x}=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{2v_0}$ $t=\frac{2\sqrt{3}v_0}{3g}$ 小球水平位移 $x=v_0t=\frac{2\sqrt{3}v_0^2}{3g}$ A、B 间的距离 $s=\frac{s_x}{\cos 30°}=\frac{4v_0^2}{3g}$

训练营答案

1. BD　2. BD　3. C　4.（1）10m/s （2）20m/s （3）15m （4）17.3m

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 什么是平抛运动　标签1

★ 平抛运动可分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动　标签2

★ 平抛运动的轨迹是一条抛物线

★ 平抛运动的规律　标签3

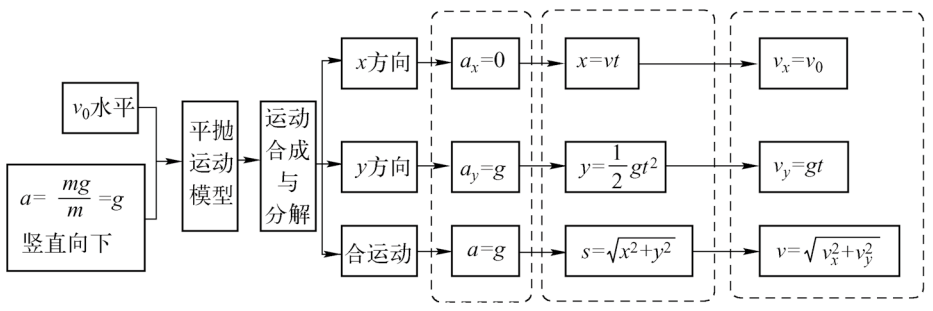
方法的形成

★ 平抛运动的研究方法：用两个简单的直线运动来等效替代。利用已知的直线运动规律来研究复杂的曲线运动　标签2

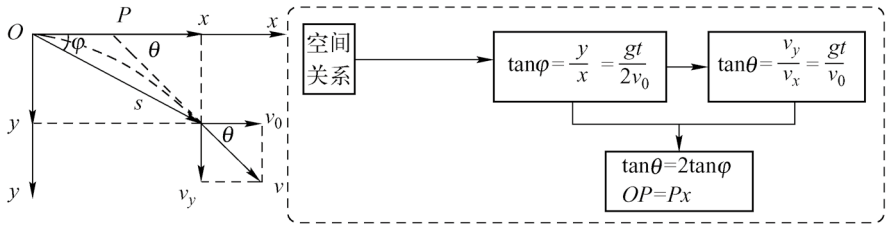
结构图

知识体系　思维操作

平抛运动的知识结构图　标签3　标签2



解决平抛运动的思维流程图



三、点拨与提高

1. 斜抛物体的运动



将物体用一定的初速度沿斜上方抛出去，若不计空气阻力，物体所做的运动叫做**斜抛运动**。斜抛运动是日常生活中常见的物理现象，如投出的铅球和标枪等，它们的运动都属于斜抛运动。

与物体做平抛运动的情况相似，物体做斜抛运动时只受到重力作用，即它的加速度是重力加速度 g。斜抛运动也可以分解为水平方向和竖直方向上的两个分运动，如图 5-3-5 所示，设初

速度为 v_0，方向与水平夹角为 α。则抛出时间 ts 后 (设物体 还没有落地),

$$\begin{cases}\text{水平分速度} v_x = v_0\cos\alpha \\ \text{竖直分速度} v_y = v_0\sin\alpha - gt\end{cases} \quad ①$$

$$\begin{cases}\text{水平分位移} x = v_0 t\cos\alpha \\ \text{竖直分位移} y = v_0 t\sin\alpha - \frac{1}{2}gt^2\end{cases} \quad ②$$

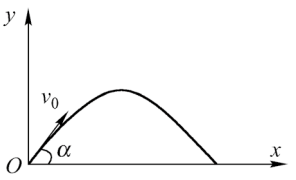


图5-3-5

2. 抛体理论在体育中的应用

抛体理论在体育运动中有重要的应用，用来定量描述初速度、初始角度以及初始高度对运动成绩的影响，并寻找它们之间的最佳组合。

（1）滑步推铅球（如图 5-3-6 和图 5-3-7 所示）


图5-3-6　运动员在推铅球

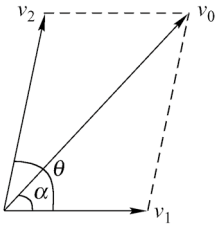


图5-3-7　推铅球

本图来自：
http://2008.sina.com.cn/hx/at/p/2008-08-16/0949213385.shtml

设铅球落地点比出手点低 h, 将 $y=-h$ 代入方程组②，可解出铅球飞行时间 t 以及投掷距离 x。

$$\begin{cases}x = v_0 t\cos\alpha \\ -h = v_0 t\sin\alpha - \frac{1}{2}gt^2\end{cases}$$

所以

$$t = \frac{v_0\sin\alpha + \sqrt{v_0^2\sin^2\alpha + 2gh}}{g}$$

$$x = \frac{v_0^2\sin 2\alpha}{2g}\left(1 + \frac{2gh}{v_0^2\sin^2\alpha}\right) \quad ③$$

由此可见，影响投掷远度的物理量有 v_0、α 和 h，增加初速率是提高成绩的关键，增加出手高度、选取合适的出手角度也能提高投掷成绩。

由式③可知 , 出手角的最佳值在 0° 与 45° 之间 , 其值可通过微分求极值而找到。对于滑步掷铅球，v_0 与 α 要用三个独立变量：v_1（球出手瞬时的水平助跑速度）、v_2（推铅球速度）和 θ（推力角）来表示

$$v_0 = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2\cos\theta} \quad ④$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{v_2}{v_1}\sin\theta\right) \quad ⑤$$

将式④和⑤带入式③得到

$$x=\frac{v_2\sin\theta}{g}(v_1+v_2\cos\theta)\left(1+\sqrt{1+\frac{2gh}{v_2^2\sin^2\alpha}}\right)\qquad⑥$$

假设 v_1、v_2 和 h 保持不变，将上式对 θ 微分求极值，经过数值计算可找到最佳推力角以及相应的最佳出手角。将世界优秀运动员的投球速率代入，并取 h=2.00m，可算出最佳出手角在 37° 左右，理论计算与实践相符。

（2）急行跳高（如图 5-3-8 和图 5-3-9 所示）



图5-3-8　运动员在跳高

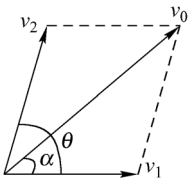


图5-3-9

本图来自：
http://sports.sina.com.cn/o/p/2009-10-23/21084656022.shtml

设 H_1 为离地瞬间身体重心距地面的高度，H_2 为重心腾空的最大高度，ΔH 为横杆到身体重心最高点的距离，则跳高成绩为 $H=H_1+H_2-\Delta H$。

由式①与式②可解出 $H_2=\dfrac{v_0^2\sin^2\alpha}{2g}=\dfrac{v_2^2\sin^2\theta}{2g}$

$$H=H_1+\frac{v_2^2\sin^2\alpha}{2g}-\Delta H$$

由此可见，跳高运动员应努力做到：

①离地前瞬间要充分伸腿和躯干，尽可能提升重心，跳高运动员宜挑选腿长的人。

②提高蹬地起跳速度 v_2。

③起跳角 $\theta\approx90°$，腾起角 $\alpha\approx70°\sim80°$。

④良好的过杆动作，使重心尽量靠近横杆，俯卧式和背越式过杆动作身体重心较低，靠近杆甚至低于横杆。

仿真实验操作提示	请在电脑中放入随书附送的多媒体光盘，在“第五章”文件夹中找到“铅球的斜抛运动”实验文件，双击打开，开始实验

第四节　实验:研究平抛运动

体验篇

周五下午，大家相约来到艾爷爷家，看到地上有很多材料。

机灵鬼：“您要干嘛呀？”机灵鬼抄起一个弹弓。

艾爷爷：“放松一下，我们来进行一个射击比赛。”



图5-4-1

1. 活动介绍

在这个活动中，你要设计一个“纸弹枪”，并且用家里能够找到的材料制作完成。然后，你要应用已经学过的平抛运动规律，分析影响物体平抛运动的几个因素，并且利用你对这些因素的理解和实际操作研究分析，预测平抛物体的运动轨迹。最后对给定的目标进行射击，看看你是否能够命中目标？也可以找几个同学来比一比。

标签1

2. 活动目标

（1）建立模型，列出影响抛体运动的因素

（2）运用模型，预测一个抛体将落在何处

3. 实验器材

吸管　橡皮筋　纸弹夹　纸　胶带　木块
钉子数枚　锤子　PVC 管　锯　塑料制品　剪刀
衣架　细钢丝　钳子　米尺

4. 安全警示

（1）在制作“纸弹枪”过程中注意不要弄伤手。

（2）在试验射击时请不要对着人射击。

5. 实验步骤

（1）充分发挥你的想象力，列出凡是你可以想到的可能影响抛体路径的各种因素。

（2）设计你的“纸弹枪”，确定你的“纸弹”如何制作。


图5-4-2

（3）考虑你所设计的“纸弹枪”，确定看起来对“纸弹”的飞行路径影响最大的两个因素。

（4）检查你的“纸弹枪”的设计，与家长或朋友讨论你选取的两个因素是否正确，如果有必要，在进一步实验之前修改你的装置。

（5）想一个方案，用来确定这两个因素对“纸弹”的路径将会产生怎样的影响。

（6）实验收集数据，填入表 5-4-1。

表5-4-1

“纸弹枪”与目标的竖直高度（cm）	橡皮筋的拉伸长度（cm）	“纸弹”飞行的水平距离（cm）
h_1=		
h_2=		
h_3=		
h_4=		

6. 分析

（1）绘制和运用图像做出数据图，以帮助你预测怎样用你的“纸弹枪”击中目标。

（2）分析你所测量的每个变量与“纸弹”的飞行距离有怎样的关系。

7. 结论与应用

（1）影响“纸弹”路径的主要因素有哪些？

（2）为了击中目标，对需要满足的条件进行预测。

（3）对准目标发射你的“纸弹”。如果没有击中，做必要的调整，然后再试。

学习篇

一、平抛实验

实验目的	（1）通过实验进一步明确平抛物体的运动是竖直方向的自由落体运动与水平方向的匀速直线运动的合运动 （2）用实验的方法描出平抛运动物体的运动轨迹 （3）由实验轨迹求平抛物体的初速度
实验原理	实验的基本原理：运动的合成与分解 由平抛运动分解，小球在水平匀速直线分运动中遵守 $x=v_0t$ 或 $\Delta x=v_0t$；竖直自由落体分运动中遵守 $y=\frac{1}{2}gt^2$ 或 $\Delta y=gT^2$。因此，导出平抛小球初速度的两个基本测量式 $v_0=\sqrt{\frac{gx^2}{2y}}$ ①　和 $v_0=\sqrt{\frac{g\Delta x^2}{\Delta y}}$ ②
实验器材	斜槽（带小球）、木板及竖直固定架、白纸、图钉、重锤线、复写纸、三角板、铅笔、刻度尺

续表

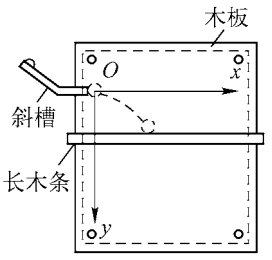
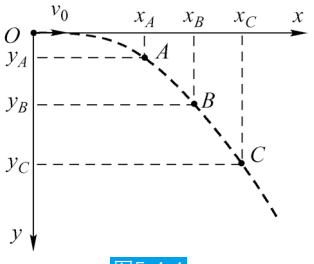
<table>
<tr><td>实验装置图</td><td>

图5-4-3</td></tr>
<tr><td>实验步骤</td><td>（1）固定记录板：将附有白纸和复写纸的木板放在槽口以内位置竖直固定
意义：确定原点位置；防止小球与木板摩擦
（2）调节槽口水平：将小球放在槽口末端，调节平板下面螺母至小球不左右滚动
意义：满足平抛条件，即初速度 v_0 水平
（3）建立坐标系：原点定在轨道出口上方球心位置；沿重锤方向标 Oy 轴，沿着垂直 Oy 轴（水平）方向标 Ox 轴，如图 5-4-4 所示


会实验
图5-4-4
意义：正确建立坐标系；正确确定轨迹的坐标
（4）重复多次实验：确定定位器位置，使小球每次都从轨道斜槽同一位置、静止释放，横板每次适当下移一定距离，采集小球平抛运动记录点
意义：满足重复性要求；多次实验重复同一平抛运动
（5）获取实验数据：将一系列实验点连成平抛光滑曲线，取曲线上若干坐标点：$A(x_A, y_A)$、$B(x_B, y_B)$，…代入公式 $v_0=\sqrt{\frac{gx^2}{2y}}$ 求初速度，v_{01}，v_{02}…
意义：测量坐标；计算初速度
（6）取平均值：平均值 $\overline{v_0}=\frac{v_{01}+v_{02}+\cdots+v_{0n}}{n}$，即为最后结果
意义：减小实验偶然误差</td></tr>
<tr><td>误差分析</td><td>实验中产生的误差原因主要来自：保证实验仪器装置和控制实验测量条件。采用描迹法要确保小球做平抛运动实验的重复性，则需：
会操作
① 保证实验仪器装置——槽口切线水平、忽略小球受到的各种摩擦力、多次重复实验，保证小球每次都必须由相同位置、静止释放，以保证小球每次都在同一条轨迹上运动
② 控制实验测量条件——实验中采用图像法处理数据，控制实验测量条件，就是正确选择原点，正确建立坐标系，正确采集“计算点”坐标</td></tr>
</table>

标签2

标签3

标签4

二、平抛运动实验应用举例

【例题 1】

在做“研究平抛物体的运动”实验时，除了木板及其固定架、小球、斜槽、铅笔、图钉、白纸、复写纸和刻度尺之外，下列器材中还需要的是 _____

A．游标卡尺　　B．秒表　　C．天平　　D．弹簧秤　　E．重锤线

思维操作	解答过程
研究内容	小球的平抛运动
依据	（1）实验原理 （2）实验步骤
条件和分析	依据平抛实验的目的和原理 $v_0=\sqrt{\frac{gx^2}{2y}}$ ①　和 $v_0=\sqrt{\frac{g\Delta x^2}{\Delta y}}$ ② 在实验中需要记录和测量小球任意时刻的位置坐标（x，y） 题干中所提供的选项中，B、C、D 都与位置测量无关。题目已提供刻度尺，所以 A 选项不需要 依据实验原理，研究平抛运动的基本思想是将运动进行分解，因此在实验步骤的操作中有建立坐标系的过程“沿重锤方向标 Oy 轴，沿着垂直 Oy 轴（水平）方向标 Ox 轴”。所以需要 E 选项
结论	E 选项正确
会操作	会根据“实验目的”“实验原理”“实验操作”“误差分析”分析实验问题

【反馈 1】

在做“研究平抛物体的运动”实验时，下列说法正确的是 _____

A．应使小球每次从斜槽上相同的 位置自由滑下

B．斜槽轨道必须光滑

C．斜槽轨道末端可以不水平

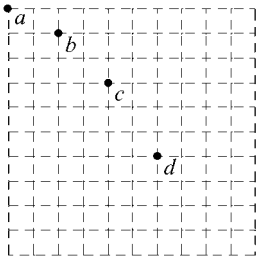
D．要使描出的轨迹更好地反映真实运动，记录的点应适当多一些

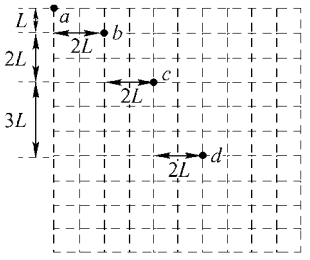
思维操作	解答过程			
依据				
条件和分析	A	B	C	D
结论				

【例题 2】

在研究平抛物体运动的实验中，用一张印有小方格的纸记录轨迹，小方格边长为 L=1.25cm。若小球在平抛运动途中的几个位置如图中的 a、b、c、d 所示，（当地重力加速度 g=9.8m/s^2）

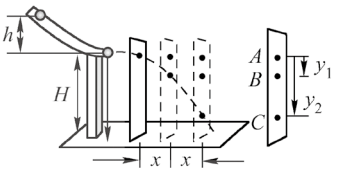
求：小球平抛的初速度 v_0



思维操作	解答过程
研究对象	小球
情境图	
物理模型	平抛运动模型
适用规律	平抛运动规律、直线运动规律
特定条件	小方格边长是 L 的正方形，小球位置 a、b、c、d 在水平方向间隔同为 $2L$，竖直方向间隔之差是定值 L
决策	由于小球位置 a、b、c、d 竖直方向间隔之差是定值 L，所以应用规律 $\Delta x = aT^2$ 水平方向匀速运动应用规律：x=v_0T
运算过程	小球在水平方向是匀速运动，相邻两点的时间间隔相等，设为 T，竖直方向相邻两点间隔之差相等，Δy=L，则，Δy=gT^2 得 L=gT^2，时间 T 内，水平位移为 x=$2L$，解得 $v_0 = \frac{x}{T} = \frac{2L}{\sqrt{\frac{L}{g}}} = 2\sqrt{gL} = 0.70\text{m/s}$
分析结果	（1）位置 a 不是小球抛出点，本题不能直接用初速度为零的特殊比例关系。规律 Δx=aT^2 适用 （2）小方格边长的单位是 cm，计算时要化为国际单位 m （3）计算结果注意保留两位有效数字

【反馈 2】

在右图的装置中，使小球从斜槽上滑下，小球撞在木板上留下痕迹 A，将木板向后移距离 x，再使小球从斜槽上同样高度滑下，小球撞在木板上留下痕迹 B，将木板再向后移距离 x，小球再从斜槽上同样高度滑下，再得到痕迹 C。A、B 间距离 y_1，A、C 间距离 y_2。若测得木板后移距离 x=10cm，测得 y_1 = 6.0cm，y_2= 16.0cm。



（1）根据以上测得的量导出测量小球初速度公式（用题中所给字母表示）。

（2）小球初速度值为多少？（保留 2 位有效数字，g 取 9.8m/s^2）

思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	
决策	
运算过程	

我的训练营

1．如图 5-4-5 为用频闪摄影方法拍摄的“研究平抛物体运动的规律”的照片。图中 A、B、C 为三个同时由同一点出发的小球。AA' 为 A 球在光滑水平面上以速度 v_0 运动的轨迹；BB' 为 B 球以速度 v_0 被水平抛出后的运动轨迹；CC' 为 C 球自由下落的运动轨迹。通过分析上述三条轨迹可得出的结论是（　　）

A．平抛运动水平方向的分运动为匀速直线运动

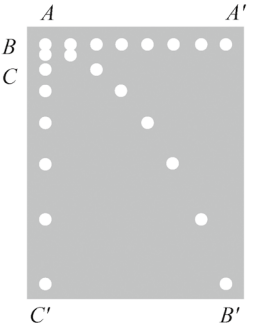


图5-4-5

B．平抛运动竖直方向的分运动为自由落体运动

C．平抛运动可分解在水平方向和竖直方向的两个独立的运动

D．平抛运动的两个分运动相互关联不能独立

2．在“研究平抛物体的运动”的实验中，可以测出小球经过曲线上任意位置的瞬时速度，实验简要步骤如下：

① 让小球多次从 _____ 位置上滚下，记下小球做平抛运动的一系列位置。

② 安装好器材，注意 _____，记下斜槽末端 O 点和过 O 点的竖直线。

③ 测出曲线上某点的坐标 x、y，用 v=_____ 计算出该点的瞬时速度。

④ 取下白纸，以 O 为原点，以竖直线为轴建立坐标系，用平滑曲线画平抛轨迹。

（1）完成上述步骤，将正确的答案填在横线上。

（2）上述实验步骤的合理顺序是 _____。

3．一个同学做“研究平抛物体的运动”的实验，只在纸上记录下重锤线 y 的方向，忘记在纸上记录下斜槽末端位置，并只在坐标纸上描出一段曲线，如图 5-4-6 所示。现在我们可以在曲线上取 A、B 两点，用刻度尺分别量出它们到 y 轴的距离：$AA'=x_1$，$BB'=x_2$，以及 AB 的竖直距离 h，求：小球抛出的水平初速度 v_0。

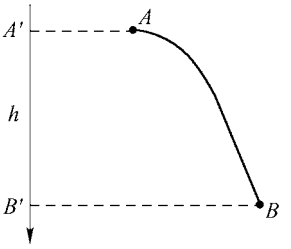


图5-4-6

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

方法的形成

★

★

结构图

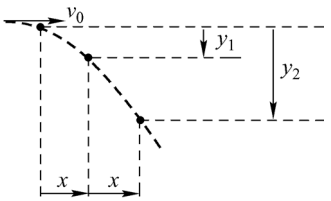
知识体系	思维操作
运用模型设计活动的思维过程	

指导篇

一、参考答案

反馈题答案

【反馈 1】　正确答案：AD				
思维操作	解答过程			
依据	实验原理和步骤			
条件和分析	A	B	C	D
	依据实验步骤：每次必须从相同位置释放小球	每次小球抛出的速度取决于释放高度是否相同，与轨道光滑与否无关	研究平抛运动，所以小球的初速度必须水平	平抛轨迹是依靠实验中记录的点迹描绘出来的，所以记录的点迹越密，描绘的轨迹越准确
结论	正确	错误	错误	正确

【反馈 2】	
思维操作	解答过程
研究对象	小球
情境图	
物理模型	平抛运动模型
适用规律	平抛运动规律、直线运动规律
特定条件	因为每两个点的水平位移都为 x，所以每两个点的时间间隔都相等
决策	因为 y_2-y_1 与 y_1 拥有相同的时间间隔，并且为相邻的两端位移，因此可以利用 $\Delta y=gT^2$ 来求解 水平方向匀速运动应用规律：$x=v_0T$
运算过程	（1）小球在水平方向做匀速运动，设相邻两点的时间间隔为 T。根据匀速运动规律有 $x=v_0T$　　① 根据 $\Delta y=gT^2$ 有 $(y_2-y_1)-y_1=gT^2$　　② 结合以上两式可得 $v_0=\frac{x}{T}=x\sqrt{\frac{g}{y_2-2y_1}}$ ②将题目中的数值带入①的表达式中得 v_0=1.6m/s

训练营答案

1．ABC

2．（1）①斜槽上的同一高度　②调整斜槽调节槽口水平　③ $\sqrt{\frac{gx^2}{2y}+2gy}$

（2）②①④③

3． $v_0=\sqrt{\frac{(x_2^2-x_1^2)g}{2h}}$

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 平抛运动物体的运动轨迹是一条抛物线　标签2

★ 平抛运动物体的水平分运动是匀速直线运动，竖直分运动是自由落体运动

★ 利用平抛物体运动轨迹可以求水平初速度　标签3

方法的形成

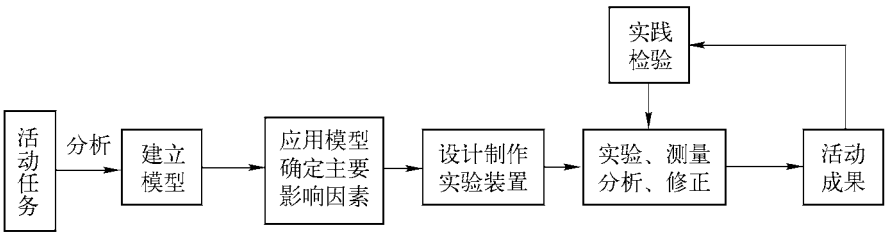
★ 满足重复性要求，多次实验重复同一运动的方法

★ 数据处理采取多次测量求平均值的方法减小误差　标签4

结构图

知识体系　**思维操作**

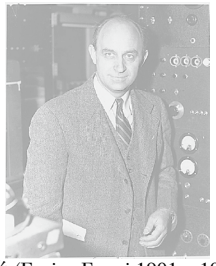
运用模型设计活动的思维过程　标签1



课外阅览：

用碎纸片估测出原子弹爆炸威力的科学家

费米是美籍意大利物理学家，诺贝尔物理学奖获得者，他是一位善于运用基础知识解决实际问题的能手。


费米 (Enrico Fermi,1901—1954)

1945 年 7 月 16 日清晨，当第一颗原子弹试验爆炸时的强烈光辐射过去后，躲在掩蔽部的一些科学家都跑到外面来。冲击波在爆炸过后大约 50s 时到达他们所在的地方，此时，只见费米从口袋里掏出一把碎纸片撒向地面，气浪把碎纸片吹出好几米远。费米量了一下碎纸片被吹开去的水平距离，然后略略一算就讲出了这次原子弹爆炸的威力，这使在场的科学家大为惊讶。原来，费米解决这一问题就是从中学学过的平抛运动知识出发。他把纸片在冲击波作用下的运动看做平抛运动，量出手原先所在的高度和纸片飘出的水平距离，即算出冲击波到达费米所在处的速度。根据这个速度，再利用其他相关知识，费米很快得出这颗原子弹爆炸的威力相当于 20000tTNT 炸药的爆炸力。费米估算的这个结果与用各种复杂仪器所测结果的数量级一致。

第五节　圆 周 运 动

体验篇



艾爷爷：“你们在游乐场玩过以下这些项目（图 5-5-1、图 5-5-2、图 5-5-3、图 5-5-4）吗？说说在玩这些项目时的感受吧。”

机灵鬼：“过山车最刺激！冲下来时风驰电掣，心都悬到嗓子眼了！”



图5-5-1



图5-5-2

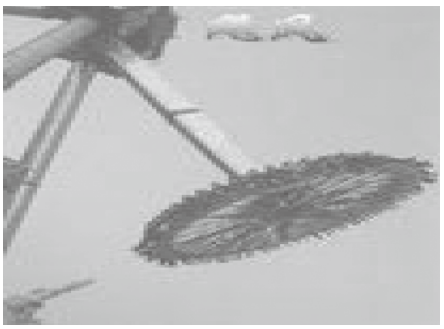


图5-5-3



图5-5-4

艾爷爷：“考考你们，摩天轮（图 5-5-2）半径为 100m，转一圈所用时间是 5 分钟，求速度。”

阿牛：“转一圈，$s=2\pi r$，用时间为 T，平均速度为 $v=\frac{s}{t}=\frac{2\pi r}{T}=2\text{m/s}$。”

小芳：“有点问题，转一圈，位移为 0，平均速度应该为 0。”

阿牛：“哦，我把速度公式和速率公式弄混了，我求的是平均速率。不过对于摩天轮转一圈的快慢用平均速度描述还有什么意思？”

艾爷爷：“是啊，看来描述物体的圆周运动和直线运动有点区别。我们先来研究最简单的匀速圆周运动。”

体验建议	把自行车翻转过来放在地上，在车的链盘边缘处、后轮轮胎边缘处和小飞轮边缘处各粘一张小贴画，均匀地转动车踏板，认真观察这些小贴画的运动，比比哪个贴画运动得快？如何来比较呢？

学习篇

一、研究圆周运动

标签1

三个小朋友把自行车翻转过来（图 5-5-5），在链盘边缘上 B 点、后轮边缘上 A 点和小飞轮边缘上 C 点，贴上三个贴画，匀速转动车蹬，开始研究 3 个贴画的运动。

小芳：“看起来 C 转得最快，但是转得越快是否表示运动得越快呢？”

机灵鬼：“我有个办法，试试看吧。”

精灵鬼准备两个打点计时器，分别固定在两个铁架台上，把纸带穿好。把纸带分别固定在 A、C 2 点（图 5-5-6）。

大家恍然大悟：“对！对！对！”



图5-5-5

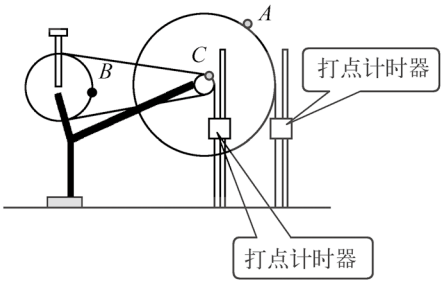
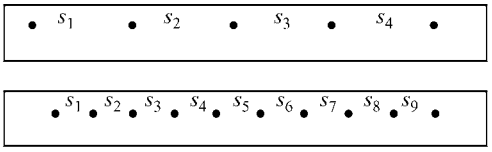


图5-5-6

三个小朋友开始了实验，真是想着容易做起来难，折腾了一个小时，终于得到了两条比较理想的纸带，如图 5-5-7 所示，三个小朋友都很兴奋。



纸带 1：固定在后轮轮胎上的纸带

纸带 2：固定在小飞轮上链条上的纸带

图5-5-7

机灵鬼：“艾爷爷！我们知道啦！固定在 A 点的纸带点间距比固定在 C 点的纸带的点间距大，说明 A 点运动比 C 快。B、C 运动得一样快。”



标签2

艾爷爷：“太棒了，把圆周运动转化为直线运动来研究，‘化曲为直’，非常巧妙！**由同一链条传动的两个齿轮边缘处的点速度大小相同。绕同轴转动的物体角速度相同。**纸带上相邻两点的间距 x 代表的还是物体在打这两点的时间间隔 t 内的位移吗？”

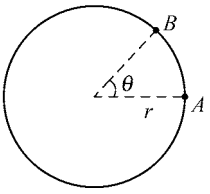
阿牛：“x 不是位移，应该是弧长。”

艾爷爷：“你们说 A 点比 C 点运动快说的是速度吗？

小芳：“不对，应该是速率。”

艾爷爷：“用‘速率’比‘速度’能更好地描述圆周运动得快慢。注意：做匀速圆周运动的物体速度的方向时刻在变化，‘匀速’不是速度不变，而是指速度的大小不变。匀速圆周运动的实质是**匀速率圆周运动**。下面我们一起来梳理一下描述匀速圆周运动的物理量吧！”见表 5-5-1。

表5-5-1　匀速率圆周运动的规律

思维操作	解答过程		
情境图	 会画图		
研究对象	做圆周运动的 P 点		
物理模型	从 A 点到 B 点，匀速率圆周运动		
圆周运动满足的规律	线速度	角速度	关系
空间	弧长 $\overset{\frown}{AB}$ 单位：m	弧长对应的圆心角 θ 单位：rad	$\overset{\frown}{AB}=r\theta$
速度	$v=\frac{\overset{\frown}{AB}}{t_{AB}}=\frac{2\pi r}{T}$ 单位：m/s	$\omega=\frac{\theta}{t_\theta}=\frac{2\pi}{T}$ 单位：rad/s	$v=\omega r$
周期	转一圈所用时间 T　　单位：s		$T=\frac{1}{f}$
频率	单位时间转的圈数 f　　单位：Hz		
转速	每秒转数 n　　单位：r/s		1r/s=1Hz

【例题】

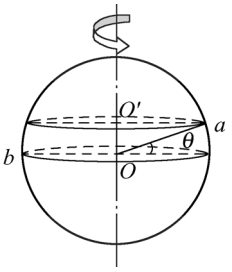
如右图所示，一个球绕中心轴线以角速度 ω 做匀速圆周运动，则（　　）

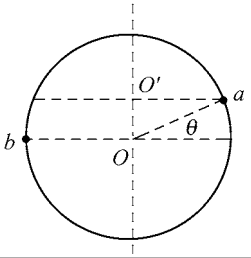
A．a、b 两点线速度相同

B．a、b 两点角速度相同

C．若 $\theta=30°$ 则 a、b 两点的线速度之比 $v_a:v_b=\sqrt{3}:2$

D．若 $\theta=30°$ 则 a、b 两点的角速度之比 $\omega_a:\omega_b=\sqrt{3}:2$



思维操作	解答过程
情境图	 会画图 注意把立体图转化为平面图这样就更容易看清楚几何关系了
依据	（1）线速度与角速度的关系：$v=\omega r$ （2）由同一链条或皮带传动（不打滑）时，两个轮子边缘处的点与链条或皮带上的各点具有相同大小的线速度 （3）绕同一轴转动的轮子上各点具有相同的角速度，进而转速 n 和周期 T 也相等

续表

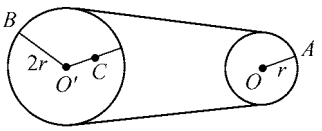
	A	B	C	D
条件和分析	a、b 是绕同一轴转动的球上的两点，它们具有相同的角速度，即 $\omega_a=\omega_b$。根据线速度与角速度的关系：$v=\omega r$，所以 $v_b>v_a$，并且 v_a 方向垂直纸面向里，v_b 方向垂直纸面向外	a、b 是绕同一轴转动的球上的两点，它们具有相同的角速度，即 $\omega_a=\omega_b$	在情境图中，设 b 点到圆心 O 的距离为 r，a 点到圆心 O' 的距离为 $r'=r\cos\theta=\frac{\sqrt{3}}{2}r$ 根据线速度与角速度的关系有 $\frac{v_a}{v_b}=\frac{\omega r}{\omega r'}=\frac{r}{r'}=\frac{\sqrt{3}}{2}$	a、b 是绕同一轴转动的球上的两点，它们具有相同的角速度，结果为 1:1
结论	错误	正确	正确	错误
会说话	请将这个问题的每个选项以“依据、条件和分析、结论”的方式对你的老师、同学或自己说一遍			

【反馈】

如右图所示，皮带传动装置，皮带轮 O 和 O' 上的三点 A、B 和 C，$OA=O'C=r$，$O'B=2r$，则皮带轮转动时 A、B、C 三点的情况是（　　）

A. $v_A=v_B$，$v_B>v_C$　　B. $\omega_A=\omega_B$，$v_B>v_C$

C. $v_A=v_B$，$\omega_B=\omega_C$　　D. $\omega_A>\omega_B$，$v_B=v_C$



思维操作	解答过程			
依据				
条件和分析	A	B	C	D
结论				

仿真实验操作提示	请将随书附送的多媒体光盘放入电脑中，在“第五章”文件夹中找到“研究匀速圆周运动”文件，双击打开，开始实验

我的训练营

1. 如图 5-5-8 所示，A、B 是两个摩擦传动的靠背轮，A 是主动轮，B 是从动轮，它们的半径

$R_A=2R_B$，a 和 b 两点在轮的边缘，c 和 d 在各轮半径的中点，下列判断正确的有（　　）

A．$v_a=2v_b$　　B．$\omega_b=2\omega_a$　　C．$v_c=v_a$　　D．$\omega_b=\omega_c$

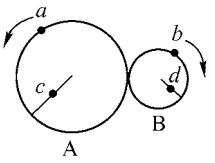


图5-5-8

2．图 5-5-9 中所示为一皮带传动装置，右轮的半径为 $r=10\text{cm}$，a 是它边缘上的一点，$v_a=0.2\text{m/s}$。左侧是一轮轴，大轮的半径为 $4r$，小轮的半径为 $2r$，大小轮固定在一起。b 点在小轮上，到小轮中心的距离为 r。c 点和 d 点分别位于小轮和大轮的边缘上。若在传动过程中，皮带不打滑。则（　　）

A．a 点与 c 点的线速度大小相等

B．a 点与 c 点的角速度大小相等

C．b 点的线速度大小为 0.2m/s

D．d 点的线速度大小为 0.4m/s

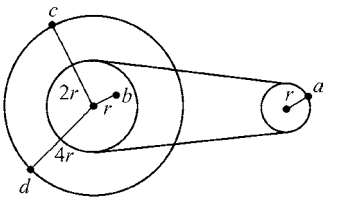


图5-5-9

3．A、B 两质点分别做匀速圆周运动，在相同时间内，它们通过的弧长之比 $s_A:s_B=2:3$，而转过的角度之比 $\varphi_A:\varphi_B=3:2$，则它们的周期之比 $T_A:T_B=$_____，线速度之比 $v_A:v_B=$_____，角速度之比 $\omega_A:\omega_B=$_____，半径之比 $R_A:R_B=$_____。

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

方法的形成

★

结构图

知识体系　　思维操作

描述匀速圆周运动的物理量

指导篇

一、参考答案

反馈题答案

【反馈】正确答案：AC				
思维操作	解答过程			
依据	（1）线速度与角速度的关系：$v=\omega r$ （2）由同一链条或皮带传动（不打滑）时，两个轮子边缘处的点与链条或皮带上的各点具有相同大小的线速度 （3）绕同一轴转动的轮子上各点具有相同的角速度，进而转速 n 和周期 T 也相等			
条件和分析	A	B	C	D
	A、B 是同一根皮带传动的两个轮子上的两点，它们具有相同的线速度，即 $v_A=v_B$。由 $v=\omega r$ 也可得到 A 和 B 的角速度关系 $\frac{\omega_A}{\omega_B}=\frac{\frac{v_A}{r}}{\frac{v_B}{2r}}=\frac{2}{1}$ B、C 是绕轴 O' 转动的轮子上的两点，它们具有相同的角速度，即 $\omega_B=\omega_C$。由 $v=\omega r$，以及 $O'B=2O'C$，所以 $v_B=2v_C$			
结论	正确	错误	正确	错误
会说话	请将这个问题的每个选项以“依据、条件和分析、结论”的方式对你的老师、同学或自己说一遍			

训练营答案

1. B　　2. AD　　3. 2∶3，2∶3，3∶2　4∶9

二、整理箱提示

知识的梳理

标签3

★ 描述圆周运动的物理量：线速度 v、角速度 ω、周期 T 和频率 f 及其关系

★ $v=\frac{2\pi r}{T}$；$\omega=\frac{2\pi}{T}$；$v=\omega r$；$f=\frac{1}{T}$

标签2

★ 传动装置的规律：由同一链条或皮带传动（不打滑）时，两个轮子边缘处的点与链条或皮带上的各点具有相同大小的线速度。绕同一轴转动的轮子上各点具有相同的角速度，进而转速 n 和周期 T 也相等

方法的形成

★ 圆周运动的研究方法

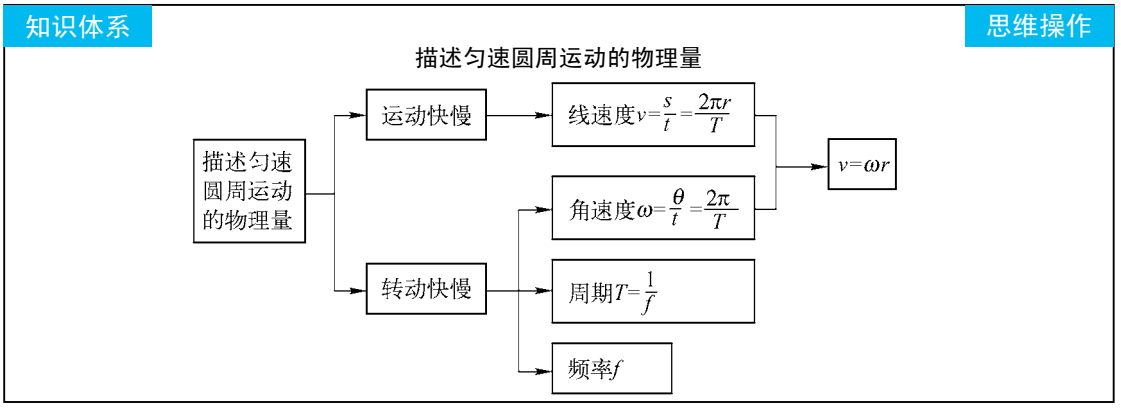
观察、实验　　标签1

比较、归纳　　标签2

结构图

知识体系

思维操作



三、点拨与提高

自行车传动



机灵鬼：“艾爷爷，变速自行车上有多个链轮和飞轮，它们是怎样实现变速的呢？”

艾爷爷：“要想弄清变速自行车的变速原理就要知道下面几个比。”见表 5-5-2。

表5-5-2

名称	符号	表达式	物理意义
齿轮比	g	$g=\frac{c}{f}$（c 代表主动轮的齿数，f 代表被动轮的齿数）	主动轮与被动轮的齿数之比为齿轮比
传动比	d	$d=\frac{cb}{f}=gb$	齿轮比乘以后轮直径
传动行程	M	$M=\pi d=\frac{\pi cb}{f}$	每踏蹬一周，车子向前运动的距离称为传动行程，也叫速比行程

例如：赛车轮盘为 49 齿，飞轮为 14 齿，代入公式即可求得齿轮比为

$$g=\frac{c}{f}=\frac{49}{14}=3.5$$

也就是说，踏脚蹬一周，飞轮转三周半。

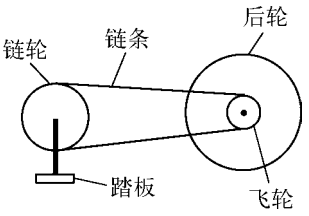
例如：赛车轮盘为 49 齿，飞轮为 14 齿，后轮直径为 0.69 cm，代入公式即可求得传动比为

$$d=\frac{cb}{f}=49\times0.69\div14=2.42\text{（cm）}$$

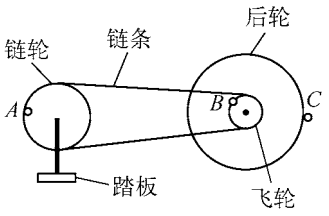
上述赛车的传动行程为 $M=\frac{\pi cb}{f}=49\times0.69\times3.14\div14=758$（cm）。

【例题 2】

某种变速自行车有六个飞轮和三个链轮，如右图所示，链轮和飞轮的齿数如下表，前、后轮直径均为 660mm，人骑自行车前进速度为 4m/s 时（在不打滑情况下，车对地速率等于车轮边缘线速度的大小），脚踩踏板做匀速圆周运动的角速度最小值约为多大



名称	链轮			飞轮					
齿轮 N/ 个	48	38	28	14	16	18	21	24	28

思维操作	解答过程
研究对象	在链轮、飞轮和后轮边缘处各选一个点 A、B、C 作为研究对象
情境图	
物理模型	匀速圆周运动
适用规律	（1）线速度与角速度的关系：$v=\omega r$ （2）由同一链条或皮带传动（不打滑）时，两个轮子边缘处的点与链条或皮带上的各点具有相同大小的线速度 （3）绕同一轴转动的轮子上各点具有相同的角速度，进而转速 n 和周期 T 也相等
特定条件	（1）链轮和飞轮的齿数如表所示 （2）前、后轮直径均为 660mm，人骑自行车前进速度为 4m/s （3）不打滑情况下，车对地速率等于车轮边缘线速度的大小 （4）求脚踩踏板做匀速圆周运动角速度的最小值
决策	（1）以点 A、B 为链轮和飞轮边缘处的点，由同一链条传动，所以具有相同线速度 （2）因为点 B、C 为飞轮和后轮上边缘处的点，飞轮和后轮都绕同一根轴转动，所以具有相同角速度 （3）已知后轮半径和它边缘处的点 C 的线速度，求它的角速度和链轮边缘处点 A 的角速度，都要用到线速度与角速度的关系：$v=\omega r$ （4）在表中，链轮与飞轮的齿轮比即为周长比即半径比
运算过程	在链轮、飞轮和后轮边缘处各选一个点 A、B、C 作为研究对象 由题可知，在不打滑情况下，车对地速率等于车轮边缘线速度的大小，已知自行车前进速度为 4m/s，所以，点 C 的线速度 v_C=4m/s 前、后轮直径均为 660mm，即 r_C=0.66m 线速度与角速度的关系：$v=\omega r$ 后轮转动角速度 $\omega=\omega_C=\omega_B=\dfrac{v_C}{r_C}$

续表

运算过程	因为点 A、B 为链轮和飞轮边缘处的点，由同一链条传动，所以具有相同线速度 $v_A=v_B$ 由线速度与角速度的关系：$v=\omega r$ 可得，$\frac{\omega_A}{\omega_B}=\frac{r_B}{r_A}$ 当链轮与飞轮的半径比 $\frac{r_A}{r_B}=\frac{48}{14}$ 时，链轮角速度最小值 $\omega_{\min}=\frac{r_B v_C}{r_C r_A}=\frac{14\times 4}{48\times 0.33}=3.54\text{rad/s}$
分析结果	（1）注意直径为 660mm，要代入半径并化为国际单位制 （2）链轮与飞轮半径比越大，相同车速时链轮角速度越小

第六节 向心加速度

体验篇

艾爷爷从抽屉里拿出一个穿着一根细绳的小球，递给机灵鬼。

艾爷爷：“你们都感受一下，让小球在水平桌面上做速度增加的圆周运动，感受一下拉小球的力。”

大家做完后，开始讨论起来。

小芳：“小球受重力G、支持力N，还有绳子的拉力T，小球速度越快，手被绳子向外拉的感觉越厉害，说明小球受到绳子的拉力越大。”小芳一边画图（图5-6-1）一边说。

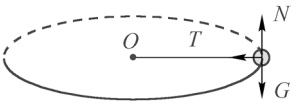


图5-6-1

体验建议	两位同学配合操作。两位同学拉紧一只手，一位同学以一只脚为轴转动，另一位同学绕这位同学转动，逐渐加快转的速度，感觉手上的拉力变化 注意！保持拉力在你能承受的范围内，确保体验时同学的安全

学习篇

一、向心加速度的方向



物体做匀速圆周运动时，它的加速度方向一定与速度垂直，总是指向圆心，它的作用效果是只改变速度的方向，而不改变速度的大小。我们把这个加速度叫做**向心加速度**。匀速率圆周运动的速度方向在变化，因此**向心加速度的方向也在变化**。



小贴士

牛顿第二定律告诉我们，物体的加速度方向总与它受力的方向一致。这个关系不仅对直线运动正确，对曲线运动同样正确。

艾爷爷在一张纸上画了四幅图，如图5-6-2所示。滔滔不绝地说道……

物体在圆轨道上做匀速圆周运动，某时刻运动到A点速度为v_A，经过时间t运动到B点速度为v_B，如图5-6-2（a），将v_B平移到B点，如图5-6-2（b），做出速度变化量Δv，如图5-6-2（c），若时间t极短接近零时，则Δv与圆半径几乎平行，这时加速度方向指向圆心。 标签1

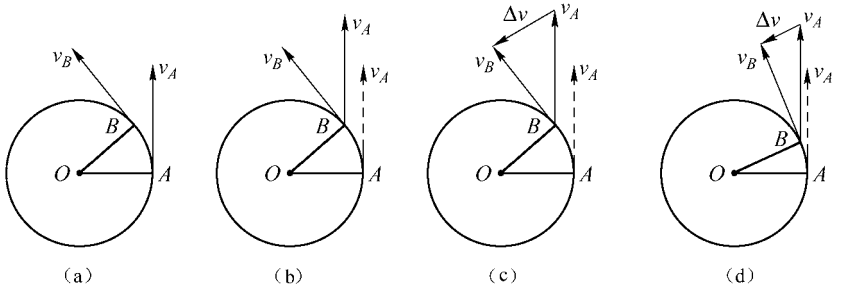
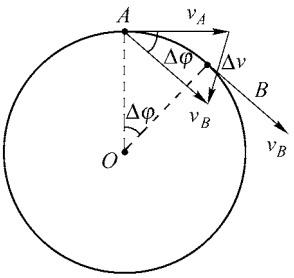


图5-6-2

阿牛：“这是极限的思想？”

艾爷爷：“是啊，和瞬时速度、瞬时加速度一样，向心加速度的方向也体现了极限思想。大小由几何关系可以证明，见表5-6-1。”

表5-6-1　匀速率圆周运动的规律

思维操作	解答过程
情境图	 会画图
研究对象	做圆周运动的物体
物理模型	从A点到B点，匀速率圆周运动
特定条件	若$\Delta t\to 0$，可以认为$\Delta\varphi\to 0$即Δv的方向指向圆心 Δv可以近似认为是v_A转动到v_B的一小段圆弧
适用规律	圆的几何知识
决策	无
运算过程	$\Delta v = v\Delta\varphi = v\omega\Delta t$ $a_{向}=\dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=v\omega=\omega^2 r=\dfrac{v^2}{r}=\dfrac{4\pi^2}{T^2}r$

二、向心加速度的大小

机灵鬼：“正好可以解释我拉着小球转动的速度越大，手就感觉越勒得厉害。半径相同，速度越大，小球需要的向心加速度就越大。”

半径一定时，角速度越大，向心加速度越大。

【例题1】

关于匀速圆周运动，下列说法正确的是（　）

A. 由 $a=\dfrac{v^2}{r}$ 知，匀速圆周运动的向心加速度恒定

B. 向心加速度只改变线速度的方向，不改变线速度的大小

C. 匀速圆周运动不属于匀速运动

D. 向心加速度越大，物体速率变化越快

思维操作	解答过程			
依据	（1）匀速圆周运动的定义：线速度大小处处相等的圆周运动 （2）向心加速度的特点：向心加速度的方向总指向圆心与速度方向垂直。其作用效果是只改变线速度方向，而不改变线速度大小			
条件和分析	A	B	C	D
	因为匀速圆周运动的向心加速度方向总是指向圆心，即加速度的方向是时刻改变的	向心加速度的作用效果：只改变速度方向，而不改变速度的大小	因为匀速运动是匀速直线运动的简称，而匀速圆周运动的速度方向时刻改变，所以不属于匀速运动	依据匀速圆周运动的定义，可知其速率是不发生改变的

续表

结论	错误	正确	正确	错误
会说话	请将这个问题的每个选项以“依据、条件和分析、结论”的方式对你的老师、同学或自己说一遍			

【反馈1】

关于匀速圆周运动，下列说法中正确的是（　）

A．匀速圆周运动的速度大小保持不变，所以做匀速圆周运动的物体没有加速度

B．做匀速圆周运动的物体，虽然速度大小不变，但方向时刻都在改变，所以必有加速度

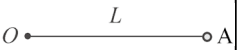
C．做匀速圆周运动的物体，加速度的大小保持不变，所以是匀变速（曲线）运动

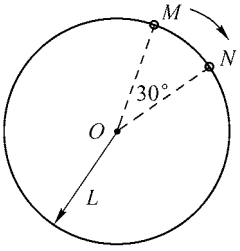
D．匀速圆周运动的加速度大小虽然不变，但方向始终指向圆心，加速度的方向发生了变化，所以是非匀变速（曲线）运动

思维操作	解答过程			
依据				
条件和分析	A	B	C	D
结论				

【例题2】

如右图所示，长度L=0.5m的轻杆，一端固定质量为m=1.0kg的小球A，另一端固定在转动轴O上，小球绕轴在水平面上匀速转动，杆每隔0.1s转过30°角，试求小球运动的向心加速度的大小



思维操作	解答过程
研究对象	小球
情境图	
物理模型	匀速圆周运动

续表

适用规律	（1）角速度定义式：$\omega=\dfrac{\theta}{t}$ （2）线速度定义式：$v=\dfrac{s}{t}$ （3）向心加速度表达式：$a_{向}=\dfrac{v^2}{r}=\omega^2 r=\dfrac{4\pi^2}{T^2}r$
决策	（1）由于题目给了条件杆每隔0.1s转过30°角，所以用角速度定义式$\omega=\dfrac{\theta}{t}$来求解角速度 （2）求得角速度，已知半径，所以用向心加速度表达式$a_{向}=\omega^2 r$求解
运算过程	由角速度定义式$\omega=\dfrac{\theta}{t}$可得 $\omega=\dfrac{\frac{\pi}{6}}{0.1}\text{rad/s}=\dfrac{5\pi}{3}\text{rad/s}$ 由向心加速度表达式$a_{向}=\omega^2 r=\omega^2 L$，代入数据可得 $a_{向}=13.7\text{m/s}^2$
分析结果	注意：如果不是特殊声明，单位要采用国际单位制主单位。要将30°化为$\dfrac{\pi}{6}$

【反馈2】

两个快艇A、B在湖面上做匀速圆周运动，在相等的时间内，它们通过的路程之比为4∶3，运动方向改变的角度之比为3∶2，它们的向心加速度之比是多少？

思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	

续表

决策	
运算过程	

我的训练营

1．下列关于匀速圆周运动的说法正确的是（　　）

A．匀速圆周运动是变速曲线运动

B．匀速圆周运动是匀速曲线运动

C．对于给定的匀速圆周运动，角速度、周期、转速是不变量

D．匀速圆周运动的向心加速度始终指向圆心，所以方向是不变的

2．时针、分针和秒针转动时，下列说法正确的是（　　）

A．秒针的角速度是分针的60倍

B．分针的角速度是时针的60倍

C．秒针的角速度是时针的360倍

D．秒针的角速度是时针的86400倍

3．关于质点做匀速圆周运动的下列说法中，正确的是（　　）

A．由 $a=\frac{v^2}{r}$ 可知，a与r成反比

B．由 $a=\omega^2 r$ 可知，a与r成正比

C．由 $v=\omega r$ 可知，ω与r成反比，v与r成正比

D．由 $\omega=\frac{2\pi}{T}$ 可知，ω与T成反比

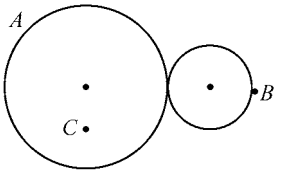


图5-6-3

4．如图5-6-3所示，大、小两个啮合在一起的齿轮正在匀速转动，小齿轮上有30个齿，A、B分别是大、小齿轮边缘上的点，C是大齿轮某半径的中点，且已知三个点的角速度之比为$\omega_A:\omega_B:\omega_C=1:2:1$。则大齿轮有_____个齿。三个点的线速度之比为$v_A:v_B:v_C=$_____；向心加速度之比为_____。



知识的梳理

★

★

方法的形成

★

结构图

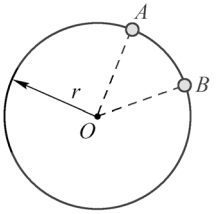
知识体系	匀速圆周运动的向心加速度知识结构图	思维操作

指导篇

一、参考答案

反馈题答案

【反馈1】正确答案：BD				
思维操作	解答过程			
依据	（1）加速度的定义：$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$ （2）向心加速度的特点：方向时刻指向圆心 （3）匀变速运动的条件：加速度恒定（大小和方向都恒定）			
条件和分析	A	B	C	D
	因为匀速圆周运动的速度方向时刻改变，即 $\Delta v\neq 0$，所以依据加速度的定义 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$，其加速度一定不为零		因为向心加速度的方向时刻指向圆心，即加速度不是恒定的，所以匀速圆周运动是非匀变速曲线运动	
结论	错误	正确	错误	正确
会说话	请将这个问题的每个选项以“依据、条件和分析、结论”的方式对你的老师、同学或自己说一遍			

【反馈2】	
思维操作	解答过程
研究对象	将两个快艇A、B视为质点作为研究对象
情境图	
物理模型	匀速圆周运动
适用规律	（1）角速度定义式：$\omega=\frac{\theta}{t}$ （2）线速度定义式：$v=\frac{s}{t}$ （3）向心加速度表达式：$a_{向}=\frac{v^2}{r}=\omega^2 r=\frac{4\pi^2}{T^2}r$ （4）线速度与角速度的关系：$v=\omega r$
特定条件	（1）在相等的时间内，它们通过的路程之比为4:3，运动方向改变的角度之比为3:2 （2）不知道每个快艇的运动半径
决策	（1）由于题目给了条件：在相等的时间内，它们通过的路程之比为4:3，运动方向改变的角度之比为3 : 2所以用角速度定义式 $\omega=\frac{\theta}{t}$ 来求解角速度关系，用线速度定义式 $v=\frac{s}{t}$ 来求解线速度关系 （2）由于不知快艇的运动半径，所以将线速度与角速度的关系$v=\omega r$，代入向心加速度表达式 $a_{向}=\omega^2 r=\omega v$ 求解
运算过程	由角速度定义式 $\omega=\frac{\theta}{t}$，可得两个快艇A、B的角速度之比 $\omega_A:\omega_B=3:2$ 由线速度定义式 $v=\frac{s}{t}$，可得两个快艇A、B线速度之比 $v_A:v_B=4:3$ 将线速度与角速度的关系式$v=\omega r$，代入向心加速度表达式 $a_{向}=\omega^2 r=\omega v$，可得两个快艇A、B向心加速度之比 $\frac{a_A}{a_B}=\frac{\omega_A v_A}{\omega_B v_B}=\frac{2}{1}$

训练营答案

1．AC　2．A　3．D　4．60，2:2:1，2:4:1

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 向心加速度的方向总是指向圆心　标签1

★ 向心加速度的表达式：$a_{向}=\frac{v^2}{r}=\omega^2 r$　标签2

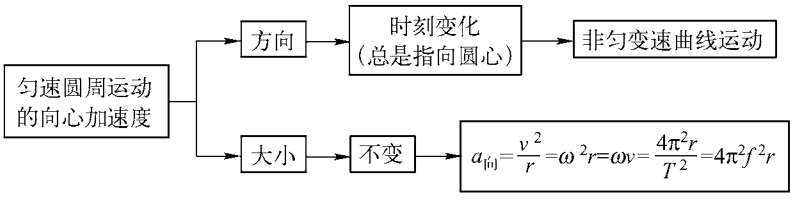
方法的形成

★ 极限思想：推导向心加速度的方向　标签1

结构图

知识体系　　思维操作

匀速圆周运动的向心加速度知识结构图　标签1　标签2



三、点拨与提高



关于向心加速度的理解：在一般的变速圆周运动中（如图5-6-4），指向圆心的分加速度叫做向心加速度，用a_n表示。和速度共线的分加速度为切线方向的切向加速度，用a_τ表示。

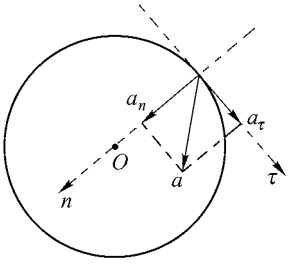


图5-6-4

第七节 向 心 力

体验篇

大家正兴致勃勃看着从游乐场拍的照片。



艾爷爷：（抽出一张照片如图5-7-1）：“坐飞椅的人M做匀速圆周运动，转动较快时为什么会被甩起来呢？”

机灵鬼：“他的速度很快，半径一定时需要的加速度更大。”

艾爷爷：“要把这个问题说清楚就要用到我们学过的牛顿第二定律。”

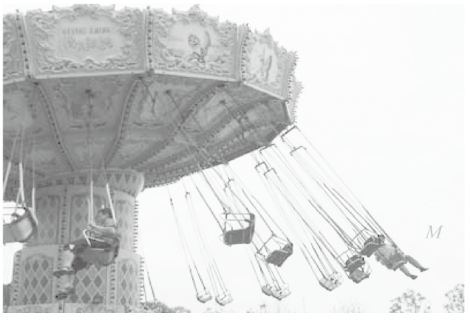


图5-7-1

学习篇

一、向心力

做匀速圆周运动的物体具有向心加速度，根据牛顿第二定律，产生向心加速度的原因一定是物体受到了指向圆心的合力。这个合力叫做**向心力**。

我们把向心加速度的表达式代入牛顿第二定律，可得向心力的表达式 标签1

$$F_{向}=ma_{向}=m\frac{v^2}{r}$$

将线速度 v、角速度 ω、周期 T、频率 f 之间的关系代入可得

$$F_{向}=ma_{向}=\begin{cases} m\dfrac{v^2}{r} \\ m\omega^2 r \\ m\dfrac{4\pi^2 r}{T^2} \\ m4\pi^2 f^2 r \end{cases}$$



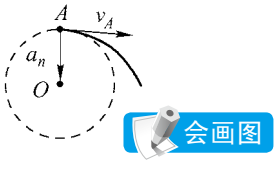
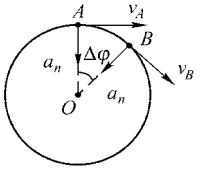
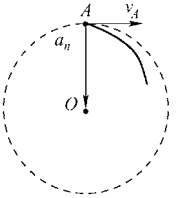
小贴士

在匀速圆周运动中，牛顿第二定律同样适用，要注意向心加速度与向心力之间的瞬时对应关系。

小芳：“物体做圆周运动时的向心力需要满足什么条件？”

艾爷爷：“根据受力和运动，我们一起来分析吧！”

表5-7-1 匀速率圆周运动的规律

思维过程	解答过程		
特定条件	提供向心力<所需向心力	提供向心力=所需向心力	提供向心力>所需向心力
满足规律	$F_{供}<F_{需}$ 离心运动	$F_{供}=F_{需}$ 匀速度圆周运动	$F_{供}>F_{需}$ 近心运动
情境图	 会画图		

续表

示例	洗衣机甩干桶  http://tech.qq.com/a/20091224/000363.htm	稳定旋转的飞椅 	陨石撞地球  http://www.wf66.com/read.asp?topage=-1&id=3534131B2E

艾爷爷：“那个坐飞椅的人如果做匀速率圆周运动，他受到的向心力是谁提供的？”

小芳：“还是绳子提供的。啊，不对，还有重力，是它们的合力。”

艾爷爷：“可以说是重力与绳子弹力的合力或绳子弹力的水平分力（如图5-7-2所示）。”

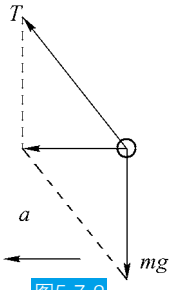


图5-7-2

小贴士

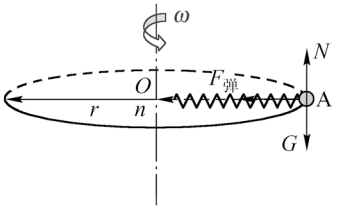
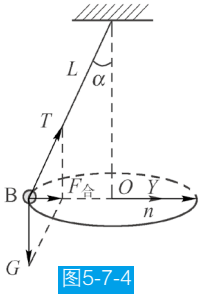
应用牛顿第二定律解决圆周运动问题时，同样要建立直角坐标系，设物体在圆周上所在位置为原点O，沿该点的切线方向建立t轴，沿指向圆心的方向建立n轴。

仿真实验操作提示	（1）请在电脑中放入随书附送的多媒体光盘，在第“第五章”文件夹中找到“研究匀速圆周运动”实验文件，双击打开，开始实验 （2）通过拖拽屏幕上的小球或箭头尾部设置绳长、小球初速度和质量 （3）点击“实验开始”按钮，开始实验，即可显示出向心力、向心加速度、周期和角速度

二、实例分析

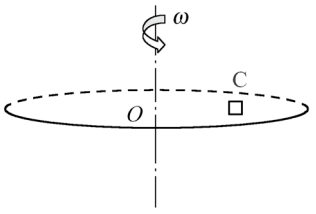
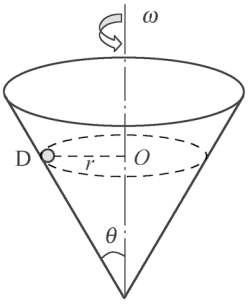
艾爷爷：“下面我们就下表来分析一下实际情况（1）（2）中的向心力来源，然后机灵鬼你来完成（3）（4）两个情境的分析。”

标签4

对下列物理情景中的物体进行分析，列出相应的牛顿第二定律方程	
（1）如图5-7-3所示，一轻弹簧拉着一个质量为m的小球A在光滑水平面上做半径为r的匀速圆周运动，角速度为ω	（2）如图5-7-4所示，用细线吊着一个质量为m的小球B，使小球在水平面内做匀速圆周运动。小球运动的线速度为v，线长为L
图5-7-3 分析：小球A在水平面上做半径为r的匀速圆周运动，对A受力分析，建立直角坐标系如上图，水平方向只受弹簧弹力作用，弹簧弹力方向指向圆心，即为小球匀速圆周运动的向心力 根据牛顿第二定律有 $F_n = F_{弹} = F_{向} = ma_{向} = m\omega^2 r$	图5-7-4 分析：小球B在水平面上做匀速圆周运动，对B受力分析建直角坐标系如图5-7-4所示，由图可知轨道半径$r=L\sin\alpha$受到重力G和绳子的拉力T，重力G与拉力T的合力$F_{合}$指向圆心，充当B做圆周运动的向心力 根据牛顿第二定律有 $F_n = mg\tan\alpha = F_{向} = ma_{向} = \dfrac{mv^2}{L\sin\alpha}$

标签5　标签6

续表

（3）如图5-7-5所示，转盘上有一物体C，质量为m，随着转盘一起做半径为r的匀速圆周运动，角速度为ω	（4）如图5-7-6所示，内壁光滑的圆锥筒的轴线垂直于水平面，圆锥筒固定不动，轴线与筒壁夹角为θ，质量为m的小球D紧贴着内壁在水平面内做半径为r的匀速圆周运动，角速度为ω
会画图  图5-7-5 分析：_____ _____ _____ 会说话 请你把自己的分析过程向其他同学或老师讲一遍	会画图  图5-7-6 分析：_____ _____ _____ 会说话 请你把自己的分析过程向其他同学或老师讲一遍

标签2 **艾爷爷：**“匀速圆周运动的物体所受合外力总指向圆心，方向总发生变化。要注意的是，向心力不是一个实际的力，而是根据效果命名的力。向心力可能是由一个力充当，或者是几个力的合力充当，也可能由受到的一个力的分力充当。”

标签3

【例题1】

下列关于向心力的说法中，正确的是（　）

A．做匀速圆周运动的物体，其向心力是恒力

B．做匀速圆周运动的物体，其向心力是变力

C．做匀速圆周运动的物体，向心力就是物体所受的合力

D．做匀速圆周运动的物体，向心力不是物体所受的合力

思维操作	解答过程			
依据	（1）向心力的定义：指向圆心的合力 （2）匀速圆周运动的定义：线速度大小不变的圆周运动			
条件和分析	A	B	C	D
	根据向心力的定义可知，向心力时刻指向圆心，是变力		根据匀速圆周运动的定义可知，其速度大小是不发生改变的，说明合力一定与速度方向垂直，即合力的方向与向心力的方向一致，所以向心力就是物体受到的合力	
结论	错误	正确	正确	错误

【反馈1】

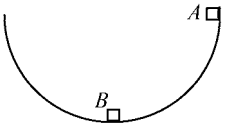
如右图所示，质量为m的木块，从半径为r的竖直圆轨道上的A点滑向B点，由于摩擦力的作用，木块的速率保持不变，则在这个过程中（　）

A．木块的加速度为零

B．木块所受的合外力为零

C．木块所受合外力大小不变，方向始终指向圆心

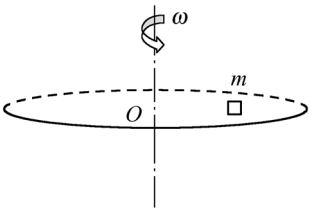
D．木块所受合外力的大小和方向均不变

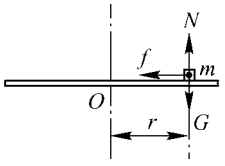
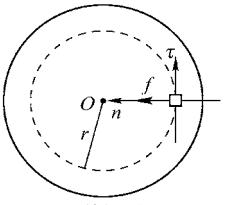


思维操作	解答过程			
依据				
条件和分析	A	B	C	D
结论				

【例题2】

一个圆盘在水平面内匀速转动，角速度为4rad/s。盘面上距圆盘中心0.10m的位置有一个质量为0.10kg的小物体能够随圆盘一起运动，如右图所示。求小物体做匀速圆周运动时所需向心力的大小



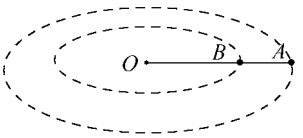
思维操作	解答过程
研究对象	将小物体视为质点
情境图	 前视图　 俯视图
物理模型	匀速圆周运动
适用规律	牛顿第二定律 向心加速度公式 $a=\frac{v^2}{r}=\omega^2 r=\frac{4\pi^2}{T^2}r$
运算过程	如情境图中的俯视图，沿法向方向建立牛顿第二定律方程 $F_n=F_{向}=ma_{向}=m\omega^2 r$可得 $F_{向}=0.10\times4\times4\times0.10\text{N}=0.16\text{N}$

续表

分析结果	注意: 如果不是特殊声明，单位要采用国际单位制主单位。计算结果向心力为0.16N小于小物体重力1N，是合理的

【反馈2】

如右图所示，在光滑的水平面上有两个质量相同的球A和球B，A、B之间以及B球与固定点O之间分别用两段轻绳相连，以相同的角速度ω绕着O点做匀速圆周运动。如果$OB=2AB$，求两段绳子拉力之比$T_{AB}:T_{OB}$



思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	
决策	
运算过程	
分析结果	

我的训练营

1．以下关于向心力的说法中正确的是（　　）

A．物体受到向心力的作用才可能做圆周运动

B．向心力是指向圆心方向的合力，是根据力的作用效果命名的

C．向心力可以是重力、弹力、摩擦力等各种力的合力，也可以是其中一种力或一种力的分力

D．向心力只改变物体运动的方向，不可能改变物体运动的快慢

2．内壁光滑的圆锥筒固定不动，其轴线竖直，如图5-7-7所示，有两个质量相同的小球A和B紧贴内壁分别在图5-7-7所示的水平面内做匀速圆周运动，则（　　）

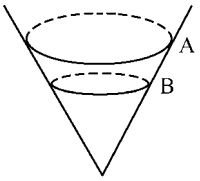


图5-7-7

A．A球线速度必定大于B球线速度

B．A球角速度必定小于B球角速度

C．A球运动周期必定大于B球运动周期

D．A球对筒壁的压力必定大于B球对筒壁的压力

3．如图5-7-8所示，水平转台上放着A、B、C三物，质量分别为$2m$、m、m，离转轴距离分别为R、R、$2R$，与转台间的滑动摩擦因数相同，转台旋转时，下列说法正确的是（　　）

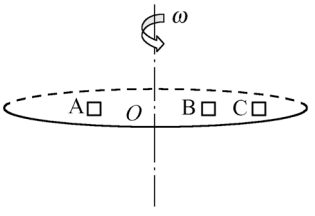


图5-7-8

A．若三物均未滑动，C物体向心加速度最大

B．若三物均未滑动，B物体受摩擦力最大

C．若三物均未滑动，B物体向心加速度最大

D．若三物均未滑动，A物体与C物体受摩擦力一样大

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

★

方法的形成

★

★

结构图

知识体系　向心力知识结构与思维流程图　思维操作

指导篇

一、参考答案

行文补丁

对下列物理情境中的物体进行分析，列出相应的牛顿第二定律方程

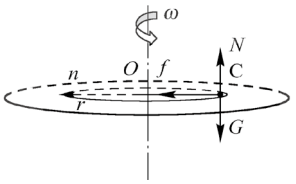


图5-7-9

分析：小球C在水平面上做半径为r 的匀速圆周运动，对C受力分析，建立直角坐标系如图，水平方向只受转盘面的摩擦力作用，摩擦力即为小球匀速圆周运动的向心力，方向指向圆心

根据牛顿第二定律有

$F_n=f_{向}=ma_{向}=m\omega^2r$

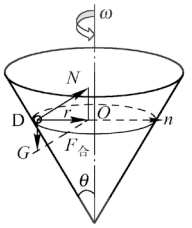


图5-7-10

分析：小球D在水平面上做匀速圆周运动，对D受力分析，建立直角坐标系如图，受到重力G和筒壁支持力N作用，重力G和支持力N的合力$F_{合}$沿水平方向指向圆心，充当向心力

根据牛顿第二定律有

$F_n=F_{合}=mg\cot\theta=F_{向}=ma_{向}=m\omega^2r$

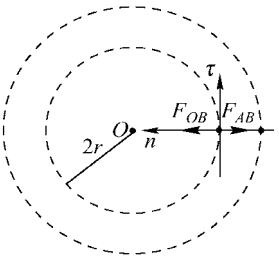
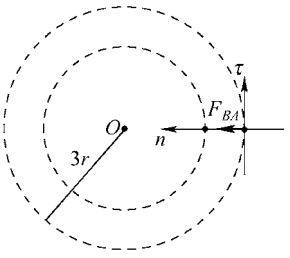
反馈题答案

【反馈1】正确答案：C

思维操作	解答过程
依据	牛顿第二定律$F_{合}=ma$ 向心加速度的表达式 $a=\frac{v^2}{r}=\omega^2r=\frac{4\pi^2}{T^2}r$

续表

	A	B	C	D
条件和分析	因为木块做匀速圆周运动，所以其运动的加速度一定指向圆心，所受合力一定不为零且方向指向圆心		因为木块做匀速圆周运动，合力就是向心力，其方向时刻指向圆心 根据牛顿第二定律和向心加速度公式有 $F_{合}=m\frac{v^2}{r}$，因为等式右边的物理量大小都不变，由此可知合力的大小不变	
结论	错误	错误	正确	错误

【反馈2】	
思维操作	解答过程
研究对象	把球A、B视为质点作为研究对象
情境图	俯视图（a）　俯视图（b）
物理模型	匀速圆周运动
适用规律	牛顿第二定律、第三定律 力的合成与分解 $F_{向}=ma_{向}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2 r$
特定条件	（1）球A、球B质量相同 （2）球A、球B之间以及球B与固定点O之间分别用两段轻绳相连，以相同的角速度ω绕着O点做匀速圆周运动 （3）绳长$OB=2AB$
决策	由于球A、球B均以角速度ω做匀速圆周运动，所以两球受到的合力等于各自圆周运动所需的向心力，根据牛顿第二定律建立力与运动的关系。维持球A、球B所需向心力由向心力公式可求得
运算过程	设球A、球B的质量均为m，对球A、球B进行受力分析，建立直角坐标系如上图所示。 分别对球A、球B列牛顿第二定律方程 B：$F_{n1}=F_{OB}-F_{AB}=m\omega^2 r_{OB}$　① A：$F_{n2}=F_{AB}=m\omega^2 r_{AB}$　② 由①式/②式得 $\frac{F_{OB}-F_{AB}}{F_{BA}}=\frac{m\omega^2 r_{OB}}{m\omega^2 r_{AB}}$　③ 根据牛顿第三定律，$F_{AB}=F_{BA}$ 将$OB=2AB$代入③得 $F_{AB}:F_{OB}=3:5$
分析结果	F_{OB}提供两个球的向心力，一定大于F_{AB}，$F_{AB}:F_{OB}=3:5$结果合理

训练营答案

1．ABCD　2．ABC　3．AD

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 向心力表达式 $F_{向}=ma_{向}=m\dfrac{v^2}{r}=m\omega^2 r$ 标签1

★ 向心力不是一个实际的力，而是根据效果命名的力 标签2

标签3 ★ 向心力可能是由一个力充当，或者是几个力的合力充当，也可能由受到的一个力的分力充当

★ 根据向心力和牛顿第二定律的知识分析和讨论与圆周运动相关的实际问题 标签4

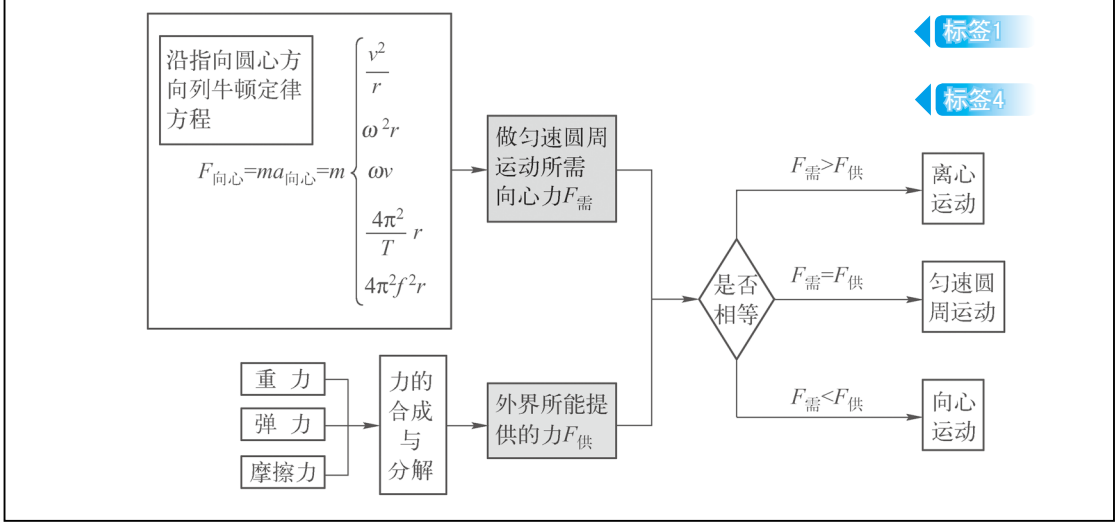
方法的形成

★ 受力分析可结合牛顿第二定律研究向心力来源的方法。 标签5

★ 分别沿半径方向和切线方向建立坐标系，研究圆周运动的方法。 标签6

结构图

知识体系　　向心力知识结构与思维流程图　　思维操作



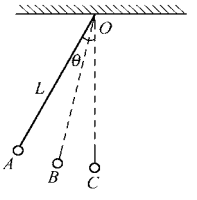
三、点拨与提高



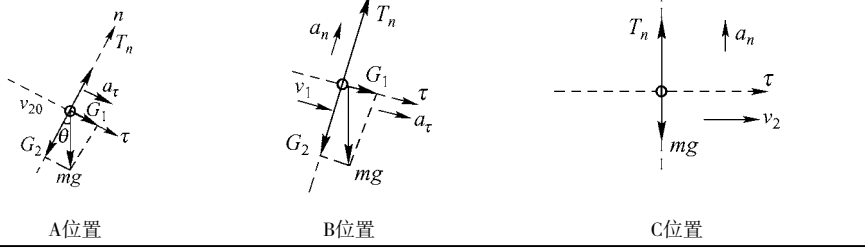
艾爷爷：“匀速圆周运动的加速度一定指向圆心。一般的圆周运动，加速度可分解为沿半径方向的向心加速度(法向加速度)和沿切线方向的切向加速度。切向加速度与线速度平行，它的效果是改变线速度的大小。法向加速度充当物体圆周运动的向心加速度，物体将做变速圆周运动。”

【例题3】

如右图所示，一个质量为m的小球用长为L的细长绳悬挂于天花板上O点，现将小球拉到A点，释放后小球经过B点时速度为v_1，小球经过最低点C时速度为v_2，重力加速度为g。试分析小球在A点、B点和C点的加速度大小和方向



续表

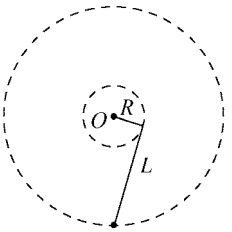
思维操作	解答过程
研究对象	将小球视为质点作为研究对象
情境图	 A位置　　B位置　　C位置
物理模型	变速圆周运动
适用规律	牛顿第二定律 力的合成与分解 $F_{向}=ma_{向}=m\dfrac{v^2}{r}=m\omega^2 r$
分析结果	如情境图中A位置和B位置的受力分析，小球在下摆过程中始终受到了沿切线方向（坐标轴z的方向）G_1的作用，因为G_1与小球的速度方向一致，所以下摆过程中小球做加速运动 根据牛顿第二定律，分别沿切向和法向列方程得 切向：$a_\tau=\dfrac{mg\sin\theta}{m}=g\sin\theta$　　① 法向：$a_n=\dfrac{T-mg\cos\theta}{m}=\dfrac{T}{m}-g\cos\theta$　② 根据圆周运动的向心加速度公式可得法向方向的加速度 $a_n=\dfrac{v^2}{L}$　　③ 在A位置，根据方程①可知其切向加速度 $a_\tau=g\sin\theta$；因为此时小球的速度为0，所以根据方程③可知$a_n=0$。所以小球此时的合加速度，$a=\sqrt{a_n^2+a_\tau^2}=g\sin\theta$，方向沿切线方向 在$B$位置，根据方程①可知其切向加速度$a_\tau=g\sin\theta$（由于此时$\theta$减小了，所以此时的切向加速度比A位置的小）；根据方程③可知 $a_n=\dfrac{v_1^2}{L}$。所以小球此时的合加速度 $a=\sqrt{a_n^2+a_\tau^2}=\sqrt{(g\sin\theta)^2+\left(\dfrac{v_1^2}{L}\right)^2}$，方向在坐标系的第一象限内 在$C$位置，由$\theta=0$ 和方程①可知其切向加速度$a_\tau=0$；根据方程③可知$a_n=\dfrac{v_2^2}{L}$。所以小球此时的合加速度$a=\sqrt{a_n^2+a_\tau^2}=\dfrac{v_2^2}{L}$，方向指向圆心

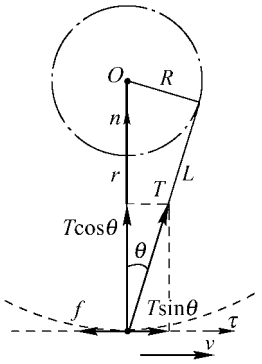
【例题4】

一根长为L的细线一端系有质量为m的小球，细线的另一端用手拿住，手持线的这端在水平桌面上沿以O点为圆心，R为半径的圆周做匀速圆周运动，达到稳定状态时，细线总是沿圆周的切线方向，如右图所示，已知小球与桌面之间的动摩擦因数为μ。试求：

（1）细线上的拉力T多大？

（2）小球的线速度多大？



思维操作	解答过程
研究对象	将小球视为质点作为研究对象
情境图	会画图 
物理模型	匀速圆周运动模型
适用规律	（1）牛顿第二定律 （2）力的合成与分解 （3）$f=\mu N$ （4）$F_{向}=ma_{向}=m\dfrac{v^2}{r}=m\omega^2 r=m\dfrac{4\pi^2}{T^2}r$
特定条件	（1）小球在水平桌面上做以O点为圆心、r为半径的匀速圆周运动 （2）手在水平桌面上做以O点为圆心、R为半径的匀速圆周运动 （3）达到稳定状态时，细线总是沿手所做圆周运动轨迹的切线方向
决策	因为在法向上，拉力的分力$T\cos\theta$和向心加速度 $a=\dfrac{v^2}{r}$都是未知量，而摩擦力f是可以求得的，所以，此题应该先从切向上的受力平衡进行求解，然后再讨论法向上的问题

续表

运算过程	（1）因为小球做匀速圆周运动，所以根据牛顿第二定律有 切向：$T\sin\theta - f = 0$ 根据滑动摩擦力规律有 $f = \mu N = \mu mg$ 根据几何关系（如情境图）$r = \sqrt{R^2 + L^2}$，由此可得 $\sin\theta = \frac{R}{r} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + L^2}}$ 结合以上三式有 $T = \frac{f}{\sin\theta} = \frac{\mu mg\sqrt{R^2 + f^2}}{R}$ （2）根据几何关系有 $\cos\theta = \frac{L}{r} = \frac{L}{\sqrt{R^2 + L^2}}$ 因为小球做匀速圆周运动，所以根据牛顿第二定律有 法向：$T\cos\theta = m\frac{v^2}{r}$ 由此可得 $v = \sqrt{\frac{T\cos\theta \cdot r}{m}} = \sqrt{\frac{\mu gL\sqrt{R^2 + L^2}}{R}}$
分析结果	注意: 小球圆周运动的半径是r

第八节 生活中的圆周运动

体验篇



这天艾爷爷拿出一张汽车图片（图5-8-1）给大家看。

机灵鬼：“哇！法拉利！”

艾爷爷：“汽车在拐弯的时候必须要减速，你们知道是为什么吗？”

阿牛：“太快了就会侧滑，就会发生危险了。我看赛车比赛时经常有赛车冲出赛道。”

艾爷爷：“高速公路的拐弯处都有限速标志，你们知道为什么要在弯路限速吗？”



图5-8-1

体验建议	准备一只酒杯（如图5-8-2，需要开口较大）放在桌面上，在里面放一个玻璃球，摇动玻璃杯，让玻璃杯沿桌面做圆周运动，逐渐加快转速，直到玻璃球自己从杯中飞出。  图5-8-2

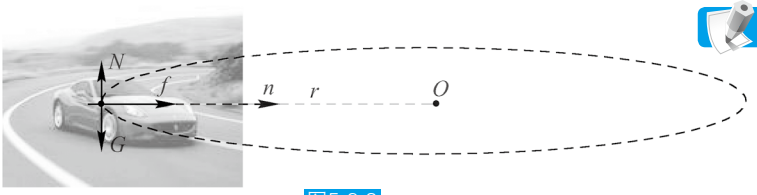
学习篇

标签1

一、物体在水平面内的圆周运动

机灵鬼：“把汽车在拐弯时的运动看做是匀速圆周运动，路面提供的静摩擦力充当汽车维持圆周运动的向心力。当车速过快时，需要的向心力就会超出路面能够提供的最大静摩擦力，就会向外侧滑，做离心运动。”

表 5-8-1　匀速率圆周运动的规律

思维操作	解答过程
标签4 情境图	会画图  图5-8-3
标签5	建立直角坐标系，沿切线方向建立t轴（垂直纸面未画出），沿指向圆心的方向建立n轴
研究对象	法拉利汽车
物理模型	匀速圆周运动
特定条件	无
满足规律	牛顿运动定律 圆的几何知识
决策	无

续表

运算过程及讨论	$F_n=F_{向}$，$f=ma_n=m\dfrac{v^2}{r}$ 随速度增加，摩擦力增加。达到最大摩擦力后，速度达到最大值 $v_m=\sqrt{\dfrac{f_m r}{m}}$

艾爷爷：“如果要想提高汽车通过弯道时的速度，有什么办法？”

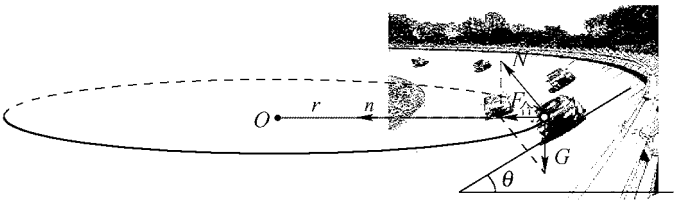
小芳：“可以想办法增大路面与轮胎间的最大静摩擦力。”

艾爷爷：“对，你们看，如图5-8-4所示，汽车赛的赛道与我们生活中普通的路面有什么区别？”

大家异口同声：“赛道是倾斜的！”

艾爷爷：“为什么要安装倾斜的赛道？下面我们来分析一下。”

表5-8-2　阿牛分析赛车的运动

思维操作	解答过程
情境图	建赛车圆周运动的轨道和圆心如图，在此圆所在平面建立直角坐标系，沿切线方向建立t轴（垂直纸面未画出），沿指向圆心的方向建立n轴 会画图  图5-8-4
研究对象	赛车
物理模型	匀速圆周运动
特定条件	临界条件：当重力沿水平方向的分力恰充当向心力时，轮胎与地面摩擦为0
满足规律	牛顿运动定律 向心力公式
决策	无
运算过程及讨论	$F_n=F_{向}$，当重力沿水平方向的分力恰充当向心力时，摩擦力为0 $mg\tan\theta=m\dfrac{v^2}{r}$ $v=\sqrt{gr\tan\theta}$

小芳：“艾爷爷，我的结论和阿牛不一样。”她一边指着她画的图（图5-8-5）一边说道。

当摩擦力为0时，指向圆心方向的合外力充当原运动的向心力，因此有

$$mg\sin\theta=m\frac{v^2}{r}$$

$$v=\sqrt{gr\sin\theta}$$

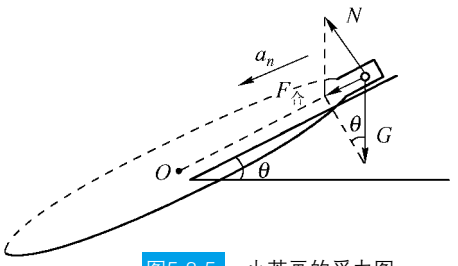


图5-8-5　小芳画的受力图

艾爷爷：“机灵鬼，你看小芳和阿牛谁说得对？错的人错在哪里？”

机灵鬼：“小芳画的图圆心和圆运动的平面有问题，如果汽车做圆周运动的轨迹如图5-8-5所示，就会拐到公路的对面或者是撞到公路的护栏上。这个图错了，因此计算公式也错了。”

艾爷爷：“不错！挑出了错误，看来机灵鬼明白了！”

注意：在解决圆周运动问题的时候，一定要先正确画出运动情境图，确定物体运动轨迹和圆心所在的位置。有时圆周运动的轨迹画错了，后期的计算就跟着错了。

在生活中这样的例子很多，如图5-8-6所示，火车的铁轨在拐弯处外轨比内轨修得高一些，这样当火车以规定的速度通过弯道时，重力和支持力的合力恰好充当所需向心力，这样就会减少车轮对铁轨的磨损。又如飞机拐弯时把机身侧起来，空气对机身的压力和重力的合力充当拐弯所需的向心力，等等。”

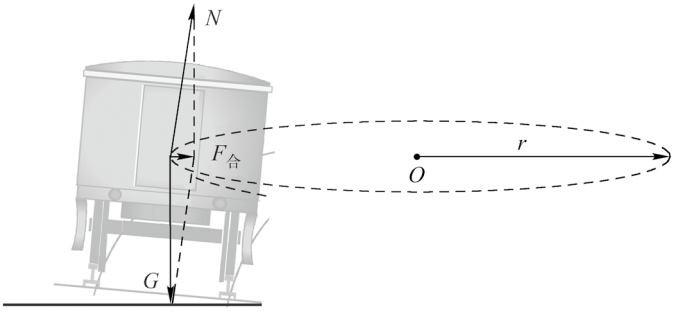


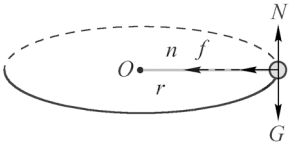
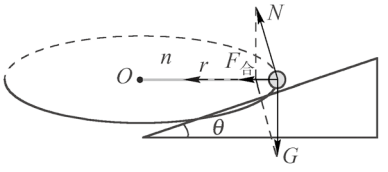
图5-8-6

【例题1】

有一辆质量为10t的汽车，以72km/h的速率通过一个路面水平的弯道，轨道半径为400m

（1）试计算地面对汽车的静摩擦力

（2）若要使汽车以此速率通过弯道，且地面与汽车间没有摩擦力，我们可以适当倾斜路基，试计算路基倾斜角度θ的大小

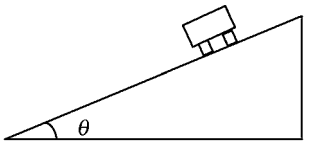
思维操作	解答过程
研究对象	将汽车视为质点作为研究对象
情境图	会画图  
物理模型	匀速圆周运动
适用规律	牛顿第二定律 力的合成与分解 $F_{向}=ma_{向}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2 r$

续表

特定条件	（1）圆周轨道在水平面上 （2）路面是水平的	（1）圆周轨道在水平面上 （2）路面不是水平的
运算过程	因为汽车做匀速圆周运动，如情境图所示，根据受力分析可知，**摩擦力是汽车受到的实际向心力** 沿法向方向根据牛顿定律建立方程 $f_{静}=ma_{向}=m\frac{v^2}{r}$ 代入数据$f_{静}=10^4\text{N}$	如情境图所示，根据受力分析可知，当摩擦力为零时支持力和重力的合力是汽车受到的实际向心力 沿法向方向根据牛顿定律建立方程 $F_{合}=ma_{向}=m\frac{v^2}{r}$ 根据几何关系有 $F_{合}=mg\tan\theta$ 结合以上两式可得 $\tan\theta=\frac{v^2}{gr}=0.1$ 查表可知$\theta=5.71°$

【反馈1】

在高速公路的拐弯处，采用外高内低的斜坡式弯道，可使车辆通过弯道时不必大幅减速，从而提高通过能力且节约燃料。若某处这样的弯道为半径r=100m的水平圆弧，其横截面如右图所示，$\tan\theta$=0.4，取g=10m/s^2。求最佳通过速度（即不出现侧向摩擦力的速度）



思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	

续表

运算过程	

二、物体在竖直面内做圆周运动



艾爷爷：“摩天轮和过山车（图5-8-7和图5-8-8）通过圆轨道时都是做圆周运动，但是过山车的速度要比观光览车快得多，这是为什么呢？”

小芳：“过山车是从几十米高冲下来的，速度快才刺激嘛。”



图5-8-7

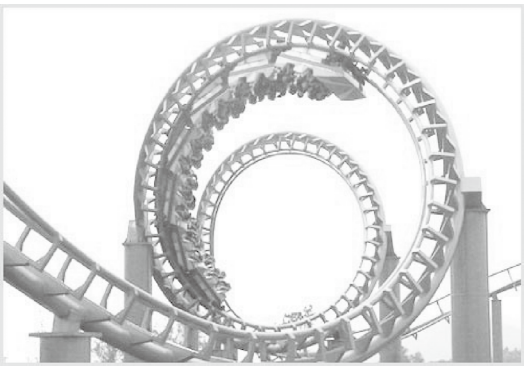


图5-8-8

艾爷爷：“除了刺激因素外，还有没有其他原因呢？”

阿牛：“老师在课上好像说过，过山车通过最高点时如果速度太慢就该掉下来了。”

标签1

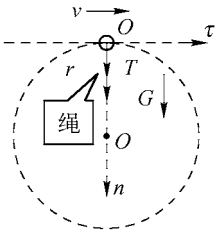
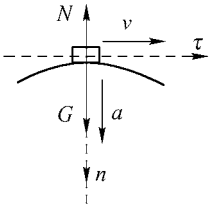
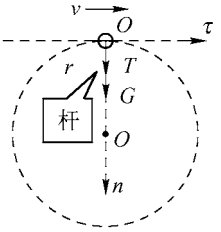
艾爷爷：“老师在课上一定区分过“绳模型”和“杆模型”，观光览车就是一个杆模型的例子，而过山车是绳模型的例子。下面我们就通过表5-8-3来把几个模型对比一下。”



小贴士

绳模型中的绳和杆模型中的杆都是理想化模型，质量不计，绳对物体只能提供拉力，不能提供支持力，杆对物体既可以提供拉力也可以提供支持力。像过山车这样的环形轨道或者是环形管轨道等也可以抽象为绳模型或杆模型。

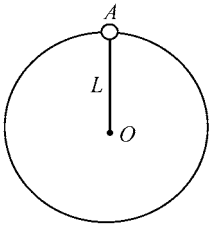
表5-8-3　绳、球、杆

思维过程	解答过程		
模型	绳球	过桥	杆球
最高点情境图	会画图  图5-8-9	 图5-8-10	 图5-8-11
特定条件	临界条件：$T=0$	临界条件：$N=0$	临界条件：$T=0$
满足规律	n方向：绳只能提供沿n方向的力 $mg+T=\frac{mv^2}{r}$ $T=0$，$v_{min}=\sqrt{gr}$	n方向：地对车提供背离n方向的力 $mg-N=\frac{mv^2}{r}$ $N=0$，$v_{max}=\sqrt{gr}$	n方向：杆可对球提供指向n或背离n方向的力 $mg\pm N=\frac{mv^2}{r}$ $N=0$，$v=\sqrt{gr}$ N沿n，$v>\sqrt{gr}$ N沿$-n$，$v<\sqrt{gr}$
示例	过山车、水流星	车过桥	杆球、圆形细管中运动的小球

仿真实验操作提示	请在电脑中放入随书附送的多媒体光盘，在“第五章”文件夹中找到“研究竖直平面内做圆周运动的杆球模型”和“研究竖直平面内做圆周运动的绳球模型”文件，分别进行实验

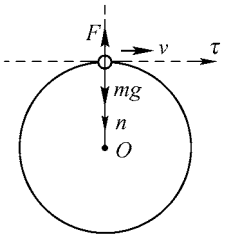
【例题2】

长度为$L=0.50$m的轻质细杆OA，A端有一质量为m=3.0kg的小球，如右图所示，小球以O点为圆心在竖直平面内做圆周运动，通过最高点时小球的速率v=2.0m/s，求此时细杆OA受到的作用力（g=10m/s^2）



思维操作	解答过程
研究对象	将小球视为质点作为研究对象

续表

情境图	 会画图
物理模型	变速圆周运动
适用规律	牛顿第二定律、第三定律 $F_{向}=ma_{向}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2 r$ 绳模型规律和杆模型规律
运算过程	受力分析如情境图所示，设在A点杆给小球的作用力 F 竖直向上，那么重力与F的合力就是小球做圆周运动的实际向心力 建立直角坐标，沿法向方向列牛顿定律方程 $$mg-F=ma_{向}=m\frac{v^2}{L}$$ 可得 F=6N $F>0$，说明 F 的方向竖直向上 根据牛顿第三定律，此时杆受到压力 $F'=F=6$N，方向竖直向下
分析结果	应该考虑到方程 $mg-F=ma_{向}=m\frac{v^2}{L}$的计算结果可能有三种情况： ① 当$F>0$时，说明其方向与假设方向相同，即$F$的方向竖直向上 ② 当$F=0$时，说明以某个特定速度通过最高点时，重力刚好提供了该时刻的向心力。根据牛顿定律 $mg=m\frac{v_{临}^2}{L}$，即$v_{临}=\sqrt{gL}=\sqrt{5}$m/s ③ 当$F<0$时，说明其方向与假设方向相反，即F的方向竖直向下 经过计算，发现本题的条件属于第一种情况

【反馈2】

司机要能够控制行驶中的汽车，汽车对地面的压力一定要大于零。高速公路所建的高架桥的顶部可以看做是一个圆弧，若高速公路上汽车的设计时速为180km/h，则高架桥顶部的圆弧半径至少应为多大？（g=10m/s^2）

思维操作	解答过程
研究对象	

续表

情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	
运算过程	

三、离心运动

艾爷爷：“你们知道吗？制作棉花糖的机器就是根据我们现在学习的圆周运动的原理设计的。机器的中心部位将糖加热成糖浆。加热腔中有一些比颗粒蔗糖尺寸还小的孔。当糖在加热腔中高速旋转的时候，由于没有足够的力提供维持它做圆周运动的向心力，糖浆就会向远离转动的中心的方向运动，从小孔中喷射出来的糖浆马上就凝结成固态的糖丝。”



机灵鬼：“对了，我们化学实验室有一台离心机，离心机在高速旋转的过程中由$F_n=m\omega^2 r$，悬浮体液中质量或体积较大的物体向转动半径最大的方向移动，而质量或体积较小的部分沉积在转动半径最小的地方。”

艾爷爷：“分析得漂亮。还有一点要注意，离心运动是指外界所提供的力小于维持物体圆周运动所需的向心力时发生的一种现象，离心力是不存在的。”

小芳：“玻璃体温计在使用前先甩一甩，让水银柱归位，也是利用离心原理吧！”

机灵鬼：“漂移！汽车漂移也是离心运动。”如图5-8-12所示。

阿牛：“投掷链球时，运动员在高速运转中的一瞬间松手，链球就飞出去了，也是离心运动。”



图5-8-12

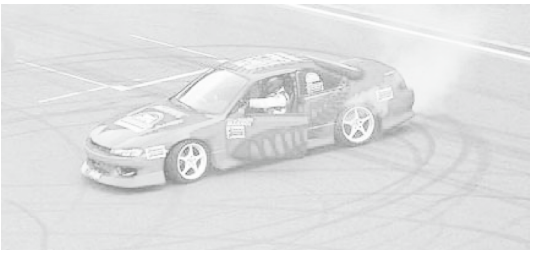


图5-8-13 汽车漂移表演

本图片来自：
http://img.autofan.com.cn/2008-11-14/16/455bf094d976.JPG

艾爷爷：“你们说得都非常好，对生活观察得很细致，这是非常好的习惯。有一点你们注意没有，汽车漂移与松手后链球飞出的瞬间的运动轨迹相同吗？”

机灵鬼：“汽车漂移是沿曲线运动的，而链球是沿切线飞出的。”

小贴士

离心运动是物体逐渐远离圆心的一种物理现象，它的本质是物体惯性的表现。

艾爷爷：“对，汽车漂移是高速拐弯时地面提供的静摩擦力小于维持汽车圆周运动所需的向心力，汽车沿曲线逐渐远离轨道圆心。而链球松手瞬间，提供向心力的拉力瞬间消失，由于惯性链球沿切线方向飞出。”

我的训练营

1．下列说法正确的是（　　）

A．做匀速圆周运动的物体，在所受合外力突然消失时，将沿圆周半径方向离开圆心

B．做匀速圆周运动的物体，在所受合外力突然消失时，将沿圆周切线方向离开圆心

C．做匀速圆周运动的物体，它自己会产生一个向心力，维持其做圆周运动

D．物体做离心运动，是因为受到离心力作用的缘故

2．质量不计的细杆AO长0.5m，A端固定一个质量m = 0.5kg的小球。细杆在机器的带动下以O点为轴，在竖直平面内以角速度ω=2rad/s做匀速圆周运动。则小球运动到最低点时对细杆的作用力是_____N，在最高点时对细杆的作用力是_____力（拉力或支持力），是_____N。（g = 10m/s^2）

3．质量为1000kg的汽车驶过一座拱桥，已知桥面的圆弧半径是90m，g=10m/s^2，求：

（1）汽车以15m/s的速度驶过桥顶时，汽车对桥面的压力。

（2）汽车以多大速度驶过桥顶时，汽车对桥面压力为零？

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

★

方法的形成

★

★

★

结构图

知识体系

牛顿运动定律研究质点运动学问题的思维操作流程

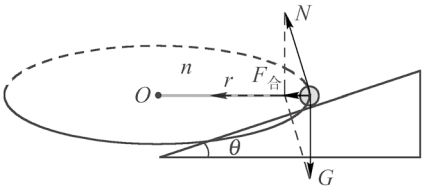
思维操作

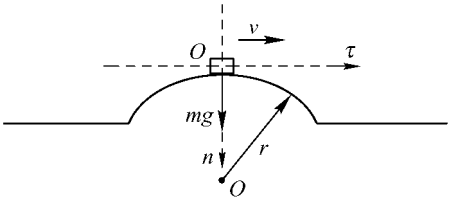
圆周运动模型中的受力临界条件的分析

指导篇

一、参考答案

反馈题答案

【反馈1】	
思维操作	解答过程
研究对象	将汽车视为质点作为研究对象
情境图	
物理模型	匀速圆周运动
适用规律	（1）牛顿第二定律 （2）力的合成与分解 （3）$F_{向}=ma_{向}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2 r$
特定条件	不出现侧向摩擦力的速度
运算过程	汽车拐弯时轨道所对应的水平圆周如上图所示 根据牛顿第二定律，$F_{合}=mg\tan\theta$。此时汽车做圆周运动所需向心力 $F_{合}=ma_{向}=m\frac{v^2}{r}$ 设路基设计倾角 θ 恰好满足汽车做圆周运动所需向心力$F_{向}$与所受合力$F_{合}$相等，即 $F_{合}=mg\tan\theta=m\frac{v^2}{r}$ $v=\sqrt{gr\tan\theta}=20\text{m/s}$

【反馈2】	
思维操作	解答过程
研究对象	将汽车视为质点作为研究对象
情境图	
物理模型	变速圆周运动
适用规律	（1）牛顿第二定律 （2）$F_{向}=ma_{向}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2 r$ （3）绳模型规律和杆模型规律
特定条件	（1）汽车通过桥顶最大安全速度$v=180\text{km/h}=50\text{m/s}$ （2）汽车在桥顶时对桥面的压力要大于零
运算过程	若汽车以临界速度$v_{临}$通过桥面最高点，只受重力作用，桥面与汽车无作用力，在法向方向列牛顿第二定律方程 $mg=ma=m\frac{v_{临}^2}{r}$ 变形得$r=\frac{v_{临}^2}{g}=250\text{m}$ 只要半径大于250m，汽车通过桥面最高点时对桥面的压力就会大于零，所以，高架桥顶部的圆弧半径至少为250m

训练营答案

1．B　2．6，支持力，4　3．（1）7500N，（2）30m/s

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 水平面内的匀速圆周运动　标签1

★ 竖直面内的变速圆周运动（绳模型和杆模型）　标签2

★ 离心运动是指外界所提供的力小于维持物体圆周运动所需的向心力时发生的一种现象

★ 离心力是根据效果命名的力，实际并不存在　标签3

方法的形成

★ 受力分析结合牛顿第二定律研究向心力来源的方法　标签4

★ 分别沿半径方向（法向）和切线方向（切向）建立坐标系，研究圆周运动的方法　标签5

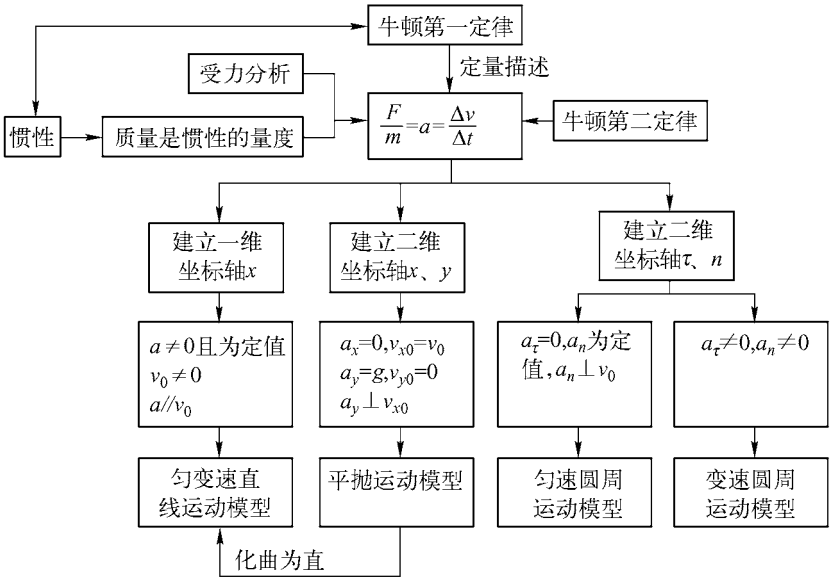
★ 模型法

结构图

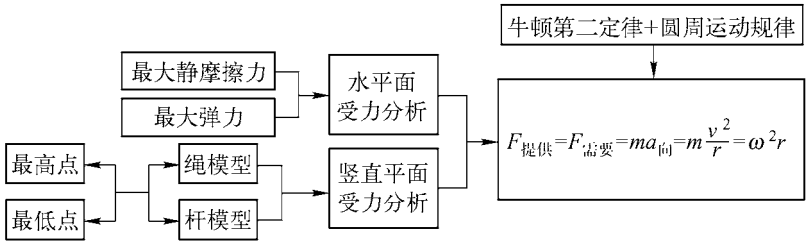
知识体系

思维操作

牛顿运动定律研究质点运动学问题的思维操作流程



圆周运动模型中的受力临界条件的分析



三、点拨与提高

艾爷爷：“前面我们研究了圆周运动中的一些常见问题，你们想过没有，我们解决圆周运动问题的方法与解决直线运动的方法有什么联系和区别呢？下面我们就来通过表5-8-4来对比一下。”

表5-8-4　直线运动与曲线运动解题思路和方法对比

运动 / 思路 / 方法	直线运动		曲线运动		
	匀速	匀变速	平抛运动	圆周运动	
				匀速圆周运动	变速圆周运动
研究对象	质点	质点	质点	质点	质点
受力分析	按重力、弹力、摩擦力的顺序分析				

续表

运动 / 思路 / 方法	直线运动		曲线运动		
	匀速	匀变速	平抛运动	圆周运动	
				匀速圆周运动	变速圆周运动
运动分析	$a=0$ $v_0\neq0$	$a\neq0$且为定值 $v_0\neq0$ $a/\!/v_0$	$a_x=0,\ v_{x0}=v_0$ $a_y=g,\ v_{y0}=0$ $a_g\perp v_{加}$	$a_\tau=0$，$a_n\neq0$且为定值，$a_n\perp v_0$，v大小不变，方向时刻变化。角速度ω、周期T和频率f都不变	$a_\tau\neq0$，$a_n\neq0$，v大小、方向都变化。角速度ω、周期T和频率f都变化
确定模型	匀速直线运动模型	匀变速直线运动模型	平抛运动模型	匀速圆周运动模型	变速圆周运动模型
模型对应的规律	$x=vt$	$v_t=v_0+at$ $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ $v_t^2-v_0^2=2ax$ $v_{\frac{t}{2}}=\overline{v}=\frac{v_0+v_t}{2}$ $\Delta x=at^2$		$v=\frac{s}{t}=\frac{2\pi r}{T}$ $\omega=\frac{\theta}{t}=\frac{2\pi}{T}$ $v=\omega r$ $T=\frac{1}{f}$ $F_{向}=ma_{向}$ $=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2r=m\frac{4\pi^2r}{T^2}$	瞬时关系 $F_{向}=ma_{向}$ $=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2r$
建立坐标系	一维坐标系	一维坐标系	二维直角坐标系，x轴沿水平方向，y轴沿竖直方向	二维直角坐标系，τ轴沿切线方向，n轴指向圆心	二维直角坐标系，τ轴沿切线方向，n轴指向圆心
列牛顿第二定律方程	$F_{合}=0$	$F_{合}=ma\neq0$	$F_{合x}=0$ $F_{合y}=ma_y=mg$	$F_{合\tau}=0$ $F_{合n}=ma_n$	$F_{合\tau}=ma_\tau\neq0$ $F_{合n}=ma_n\neq0$

检测篇

一、检测题

1．做曲线运动的物体，下列物理量中肯定不发生变化的是（　　）

A．速率　　B．速度

C．加速度　　D．所受合外力

2．关于匀速圆周运动的下列说法正确的是（　　）

A．匀速圆周运动是变速曲线运动

B．匀速圆周运动是匀速曲线运动

C．对于给定的匀速圆周运动，角速度、周期、转速是不变量

D．匀速圆周运动的向心加速度和向心力始终指向圆心，所以两者的方向是不变的

3．将一个物体以速度v水平抛出，当物体的竖直速度与水平速度的大小相等时，所经历的时间为（　　）

A．$\frac{v}{g}$　　B．$\frac{v}{2g}$　　C．$\frac{2v}{g}$　　D．$\frac{\sqrt{2}v}{2g}$

4．某同学对着墙壁练习打网球，假定球在墙面上以25m/s的速度沿水平方向反弹，落地点到墙面的距离在10m至15m之间，忽略空气阻力，$g=10\text{m/s}^2$，球在墙面上反弹点的高度范围是（　　）

A．0.8～1.8m　　B．0.8～1.6m

C．1.0～1.6m　　D．1.0～1.8m

5．关于质点做匀速圆周运动的下列说法中，正确的是（　　）

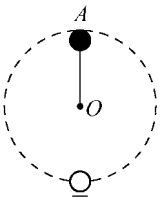
A．由可知 $a=\dfrac{v^2}{r}$，a 与 r 成反比

B．由可知$a=\omega^2 r$，a 与 r 成正比

C．由可知$v=\omega r$，ω与 r 成反比，v 与 r 成正比

D．由可知 $\omega=\dfrac{2\pi}{T}$，ω与 T 成反比

6．如右图所示，轻杆的一端有一个小球，另一端有光滑的固定轴O。现给球一初速度，使小球和杆一起绕O轴在竖直面内转动，不计空气阻力，用F表示球到达最高点时杆对小球的作用力，则（　　）



A．一定是拉力

B．一定是推力

C．一定等于0

D．可能是拉力，可能是推力，也可能等于0

7．洗衣机中脱水转筒的脱水原理是（　　）

A．水滴受离心力的作用而背离圆心方向甩出

B．水滴没有受到向心力，由于惯性沿切线方向甩出

C．水滴受到的离心力大于它受到的向心力，而沿切线方向甩出

D．水滴与衣物间的附着力小于它所需要的向心力，于是沿切线方向甩出

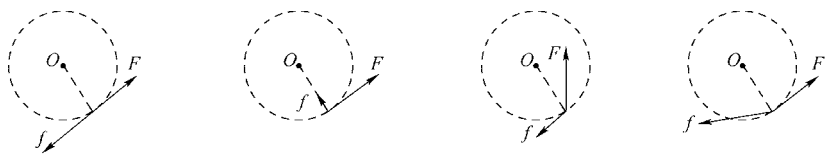
8．质量为m的飞机，以速率v在水平面上做半径为 r 的匀速圆周运动，空气对飞机的作用力的大小等于（　　）

A．$m\sqrt{g^2+\left(\dfrac{v^2}{r}\right)^2}$　　B．$m\dfrac{v^2}{r}$　　C．$m\sqrt{\left(\dfrac{v^2}{r}\right)^2-g^2}$　　D．mg

9．甲、乙两物体都做匀速圆周运动，其质量之比为1∶2，转动半径之比为1∶2，在相等时间里甲转过60°，乙转过45°，则它们所受外力的合力之比为（　　）

A．1∶4　　B．2∶3　　C．4∶9　　D．9∶16

10．狗拉着雪撬在水平冰面上沿着圆弧形的道路匀速行驶，下面四个关于雪橇受到的牵引力F及摩擦力f的示意图(O为圆心)，其中正确的是(　　)



A．　　B．　　C．　　D．

11. 用细绳拴住一个小桶，注入0.5kg水后，使小桶在竖直平面内做半径为40cm的圆周运动，要使小桶过最高点时水不致流出，小桶过最高点的速度应是_____；当小桶过最高点的速度为3m/s时，水对桶底的压力是_____。(g取10m/s^2)。

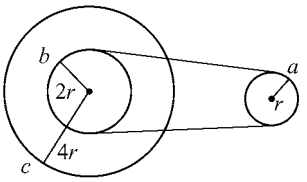
12. 质量为3t的汽车，以6m/s的速度驶过半径为r =20m的凸形桥顶点。汽车通过桥的顶点时对桥面的压力大小是_____N；当汽车通过桥顶时速度是_____ m/s时，汽车对桥面的压力刚好是零。

13. 如下图所示为一皮带传动装置，右轮的半径为r，a是它边缘上的一点，左侧是一轮轴，大轮的半径为4r，小轮的半径为2r。b点和c点分别位于小轮和大轮的边缘上。若在传动过程中，皮带不打滑。则

（1）a、b、c三点的线速度大小之比为_____。

（2）a、b、c三点的角速度大小之比为_____。

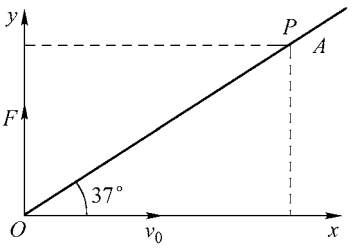
（3）a、b、c三点的向心加速度大小之比为_____。



14. 汽车在水平路面上驶过半径为25m的弯道，已知轮胎和路面间的最大静摩擦力是车重的40%。若要求汽车转弯时不发生侧滑，汽车转弯时的速度必须小于_____ m/s；若采用外高内低的倾斜式弯道，则在车速和弯道半径不变的前提下，弯道路面的倾角α=arctan_____，车轮与路面间恰好没有摩擦力。

15. 某河宽150m，小船的静水航速为25m/s，河水流速为10m/s，求当船头方向与水流方向夹角为37° 时，小船的渡河时间和向下游漂流的距离。

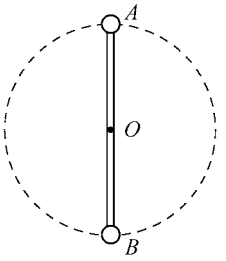
16. 在光滑的水平面内，一质量m=1kg的质点以速度v_0=10m/s沿x轴正方向运动，经过原点后受一沿y轴正方向的恒力F=5N作用，直线OA与x轴成37°角，如右图所示，质点的运动轨迹与直线OA相交于P点，求：质点从O点到P点所经历的时间以及P的坐标。



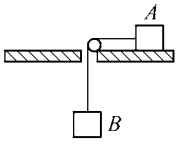
17. 一根轻杆长为L，两端各固定一个可视为质点的小球A和B，两球质量为均m，在杆中点O有一转轴，轻杆可以绕过杆中点O的水平转轴在竖直平面内匀速转动。若轻杆转到如下图所示的竖直位置时轻杆对A球的作用力恰好为零，求：

（1）此时A球的线速度v；

（2）此时B球受到杆的作用力F大小和方向。



18. 如下图所示，质量为2kg和3.5kg的物体A、物体B之间用一根细绳连接，物体A放在转盘上，随转盘沿半径为40cm的圆周做匀速圆周运动，若A与转盘间的最大静摩擦力与物体对转盘的压力的比值为3:4，为了使物体B不上升也不下降，求转盘角速度的取值范围（g=10m/s^2）。



一、检测题答案

1. A　2. AC　3. A　4. A　5. D　6. D　7. D　8. A　9. C　10. C

11. 2m/s，6.25N　12. 24600，14.1

13. （1）$v_a : v_b : v_c$=1 : 1 : 2　（2）$\omega_a : \omega_b : \omega_c$=2 : 1 : 1　（3）$a_a : a_b : a_c$=2 : 1 : 2

14. 10，0.4　15. 10s，300m　16. 3s，（30m，22.5m）

17．（1）$\sqrt{\frac{gL}{2}}$　（2）$2mg$，方向沿杆向上

18．7.9rad/s≥ω≥5rad/s

我的收藏夹

Chapter 6

第六章　万有引力与航天

学习指导语

要想研究我们熟悉的地球、太阳、月亮等天体的运动，了解我国载人航天的成就，你需要好好学习本章知识！

本章知识属于牛顿运动定律在天体圆周运动中的应用，不过此时需要在天体运动向心力的分析中加入万有引力。牛顿定律搭台，万有引力唱戏，只要把新朋友——万有引力并入之前的力学体系，你就有希望顺利通关了！

需要提醒的是，我们不但要继续研究天体的圆周运动，还要研究天体的向心运动和离心运动。

第一节　行星的运动

体验篇

小芳：“艾爷爷，遥远的星球真神秘，通过天文望远镜我们可以观测到它们，但怎么知道它们是如何运动的呢？”小芳指着一幅图（图 6-1-1）问艾爷爷。

阿牛：“要常年观测，再以太阳、地球、月亮为参照来描绘它们的运动轨迹，但太阳、地球和月亮也是运动的，这个问题太复杂了！”

艾爷爷：“让我们一起来研究一下你们提出的问题吧。”

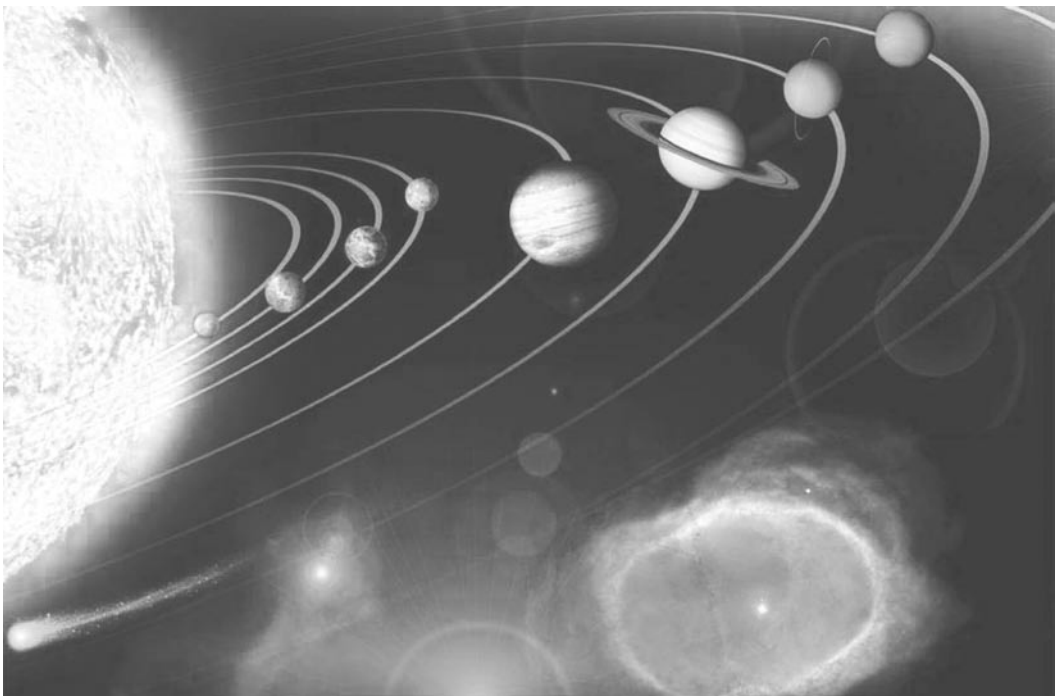


图6-1-1

http://hi.baidu.com/tanlisg/album/item/1e61eece734b9911b700c829.html

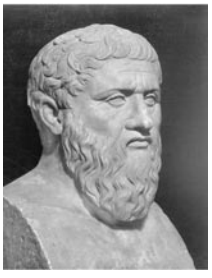
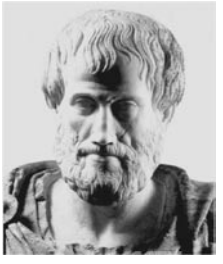
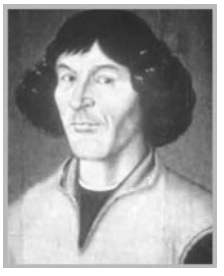
体验建议	（1）在晴朗的夜晚，欣赏一下美丽的夜空，利用星座观察星星的东升西落。 （2）连续一个月观察月相并画图记录。（最好拍照） （3）参观天文馆。①使用天文望远镜观察月球表面。②使用天文望远镜找到一颗太阳系的主要行星

学习篇

一、他们引领我们认识了宇宙

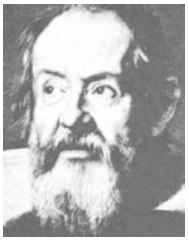
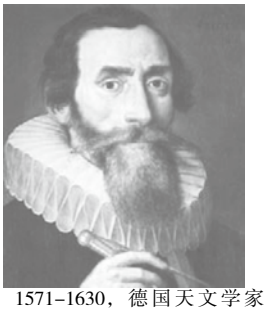
艾爷爷：“对遥远星空的好奇使得科学家把探索的步伐迈向浩瀚的宇宙。”艾爷爷边说边拿出一张带图的表 6-1-1，“看看这些伟大科学家们对于行星运动的观点吧。”

表6-1-1

科学家	观点	科学家	观点
柏拉图  约前 427 年—前 347 年，古希腊哲学家和思想家	整个宇宙是一个圆球，宇宙的运动是一种环行运动	亚里士多德  前 384 —前 322，古希腊哲学家、科学家和教育家	地球位于宇宙中心，日月围绕地球运行
托勒密  约 90–168，古希腊天文学家、地理学家、地图学家、数学家，地心说的代表人物	认为地球处于宇宙中心，且静止不动，日、月、行星和恒星均环绕地球运行	哥白尼  1473–1543，波兰天文学家日心说的代表人	地球只是月球轨道的中心，所有天体都绕太阳运转
第谷  1546–1601，丹麦天文学家，被称为“星学之王”	拥护地心说。1576 年建立世界上最早的大型天文台，观察星象 20 多年获得大量数据	布鲁诺  1548 – 1600，意大利思想家、自然科学家、哲学家和文学家	日心说的拥护和宣传者。 认为地球只是绕太阳运转的一颗行星，太阳也只是宇宙中无数恒星中的一颗

标签1

续表

科学家	观点	科学家	观点
伽利略  1564 — 1642，意大利数学家、物理学家、天文学家和哲学家，近代实验科学的先驱者	1610 年伽利略发现了木星的四颗卫星，为日心说找到了确凿的证据	开普勒  1571–1630，德国天文学家、物理学家。被称为“天空的立法者”	研究第谷的观测数据，发表了开普勒三定律。对行星绕太阳运动的轨迹，速度变化，周期做了定量的表述

艾爷爷：“提出行星运动规律的开普勒，视力衰弱，一只手残疾，根本无法自己观测行星的位置。你们知道他是怎么提出行星运动规律的吗？”

阿牛：“我查了资料，第谷经过 20 年观测留下了行星运动的几千组数据，开普勒对这些数据进行了研究。要在纷繁的数据中提炼出简单的规律，实在很不容易！”

标签4 **艾爷爷：**“更难得的是‘用简练的数学公式概括出行星运动的规律’的想法，当然过程也不轻松。第谷的观测数据是第一步；然后需要提出假设；如设行星相对于某个圆心（地球或太阳或其他星球）做某种运动（直线、圆或抛物线……）；根据观测数据，计算数据与猜想是否吻合；如果所有数据吻合，证明猜想成立；如果不吻合，要重新提出假设。仅推导开普勒第一定律就经历了四年时间，否定了 19 种假设。开普勒被称为‘天空立法者’是当之无愧的！从他的时代开始，数学公式就成为表达物理规律的基本方式了。”

二、开普勒三定律

标签2 ### 1. 开普勒第一定律

所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在椭圆的一个焦点上。

艾爷爷：“能用开普勒第一定律来解释这幅图（图 6-1-2）吗？”

小芳：“让我来，行星 1、2、3 的轨道都是椭圆，太阳在每个椭圆的某一个焦点上。”

（关于椭圆的一些知识参考后面的“点拨与提高”。）

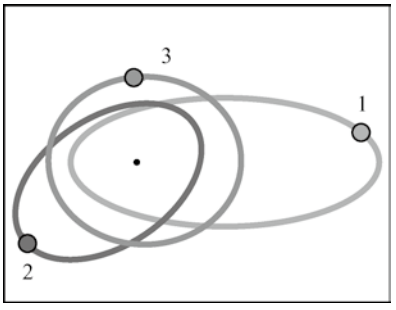


图6-1-2

2. 开普勒第二定律

对于任意一个行星来说，它与太阳的连线在相等的时间内扫过相等的面积。

阿牛：“这个规律用图表述就是这样吧？”阿牛边说边画了一幅图（图 6-1-3）。

阿牛：“设行星绕太阳逆时针旋转，取三个相等时间间隔，画出行星与太阳连线扫过的面积，如图中的 a、b、c，这三个面积相等。”

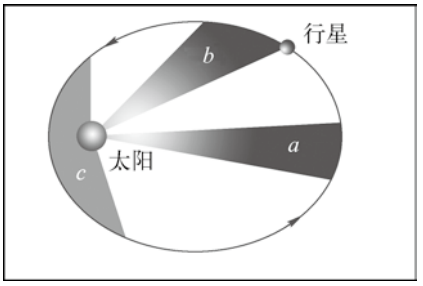


图6-1-3

www.physt.cn/article/?action-viewnews-itemid-621

艾爷爷：“阿牛说得好。机灵鬼，考考你，请你来根据图 6-1-3 填空吧。”

比较 a、b、c，行星离太阳越近时（如面积 c），相等时间走过的弧长对应的圆心角越 _____ ①，角速度越 _____ ②。

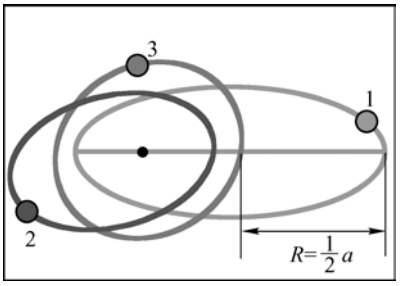


图6-1-4

3. 开普勒第三定律

所有行星的轨道半长轴的三次方跟它的公转周期的二次方的比值都相等。公式：$\frac{R^3}{T^2}=k$ 。

艾爷爷在图 6-1-2 的基础上略改了几笔（图 6-1-4）。

艾爷爷：“椭圆中的最长直径为长轴 a，半长轴 $R=\frac{1}{2}a$ ，行星 1、2、3 的轨道半长轴的三次方跟它的公转周期的二次方的比值都相等，即 $\frac{R^3}{T^2}=k$ 。”

机灵鬼：“下面的空我来填。”三颗行星中 _____ ③ 半长轴最大，_____ ④的周期最大。

艾爷爷：“不错不错。下面这幅图是太阳系行星及冥王星的轨道图。”艾爷爷边说边拿出一幅图（图 6-1-5）。“说说你从图中都可以得知哪些信息？”

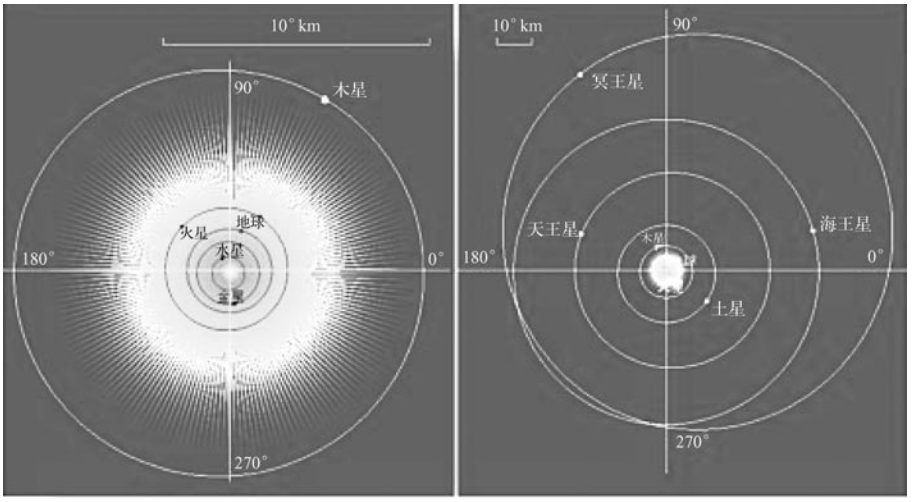


图6-1-5

小芳：“中间是太阳，行星绕太阳的轨道看起来都是圆轨道啊。”

阿牛：“右图中，冥王星轨道是椭圆，但非常接近圆。”

艾爷爷：“观察得非常细致！一般来说行星绕太阳的轨道非常接近圆，**在高中阶段处理行星绕太阳运转的问题时轨道都可以看成圆周。**”

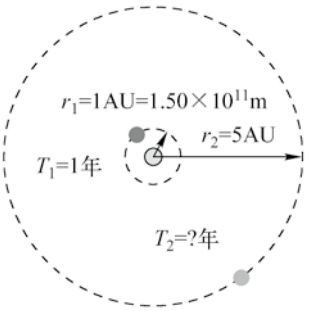
【例题 1】

地球公转轨道半径为 1.50×10^{11}m，设此长度为 1 天文单位（1AU）。若木星公转轨道半径约为 5AU，求木星绕太阳一周约需要多少年（保留整数）

标签3

思维操作	解答过程
研究对象	地球　木星

续表

情境图	 会画图
物理模型	圆周运动
适用规律	木星、地球同为太阳的行星，满足开普勒定律：$\frac{R^3}{T^2}=k$，$\frac{r_1^3}{T_1^2}=\frac{r_2^3}{T_2^2}$
运算过程	$T_2=\sqrt{\frac{T_1^2 r_2^3}{r_1^3}}=\sqrt{\frac{1^2\times 5^2}{1^3}}=11$（年）
分析结果	单位是否正确？单位为年 数值是否正确？半径大了，周期就应该大
会操作	请按照这些解题的规范操作步骤独立算一遍！确信你能独立重复！

艾爷爷：“刚才我们讨论的是绕太阳旋转的不同行星，太阳系里还有很多绕行星旋转的卫星。比如地球、木星、火星都有卫星。下面咱们来研究一下绕木星旋转的不同卫星吧。”注意规范的操作步骤！

【反馈】

伽利略用木星的直径作为量度单位，测量了木星卫星的轨道。他发现最接近木星的木卫 1 距离木星中心为 4.2 个木星直径单位，它的周期为 1.8 地球日。距离木星中心 18.6 个木星直径单位的木卫 4 的周期是 16.7 天。请通过计算说明对于木星的卫星木卫 1 和木卫 4 是否满足开普勒第三定律

思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	

续表

物理模型	
适用规律	
运算过程	
分析结果	



我的训练营

1．下列科学家中拥护日心说的是（　　）

A．亚里士多德　　B．托勒密　　C．第谷　　D．开普勒

2．人造地球卫星和月球都绕地球旋转。

（1）画出它们围绕地球旋转的示意图。

（2）对照示意图解释开普勒三定律。

3. 冥王星离太阳的距离是地球离太阳的距离的 39.6 倍，那么冥王星绕太阳的公转周期是多少年？（冥王星和地球绕太阳公转的轨道可视为圆形轨道）

4．月球环绕地球运动的轨道半径约是地球半径的 60 倍，运行周期约为 27 天，试用开普勒定律计算：在赤道平面内离地心的距离是多少个地球半径时，人造地球卫星可以随地球一起转动，就像停留在天空不动一样。



我的整理箱

知识的梳理

★

★

方法的形成

★

结构图

知识体系

思维操作

推导开普勒三定律的科学方法

开普勒三定律的文字、图像表述

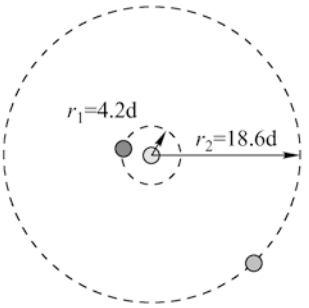
指导篇

一、参考答案

行文补丁

①大　②大　③1　④1

反馈题答案

【反馈】	
思维操作	解答过程
研究对象	木卫 1 和木卫 4
情境图	

续表

物理模型	天体的圆周运动
适用规律	开普勒第三定律：$\frac{R^3}{T^2}=k$
运算过程	$\frac{r_1^3}{T_1^2}=\frac{4.2^3}{1.8^2}=22.9$；$\frac{r_2^3}{T_2^2}=\frac{18.6^3}{16.7^2}=23.1$ 近似有 $\frac{r_1^3}{T_1^2}=\frac{r_2^3}{T_2^2}$
分析结果	卫星绕行星旋转时也满足开普勒第三定律

训练营答案

1．D

2．

（1）情境图：如图 6-1-6 所示。

（2）第一定律：月球和人造地球卫星都各自绕地球做不同的椭圆运动（可近似看成圆周），地球在它们椭圆轨道的一个焦点上。

第二定律：月球球心和地球球心的连线在相等时间扫过相等的面积；人造地球卫星（相对地球可看成质点）与地球球心的连线在相等时间扫过相同的面积。

第三定律：对于月球和人造地球卫星而言，它们的轨道半径的立方与周期平方之比为定值。

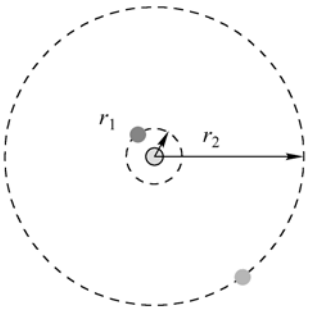


图6-1-6

3．249 年

4．6.67 倍

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 认识行星运动的历史　　标签1

★ 开普勒三定律的内容。用文字和图像如何表述　　标签2

方法的形成

★ 解题过程的规范操作方法　　标签3

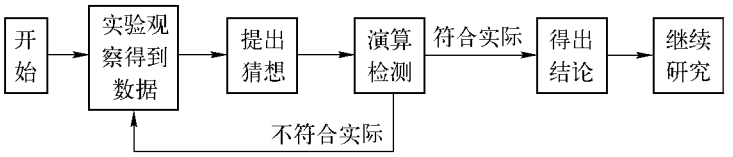
结构图

知识体系

思维操作

推导开普勒三定律的科学方法

标签4

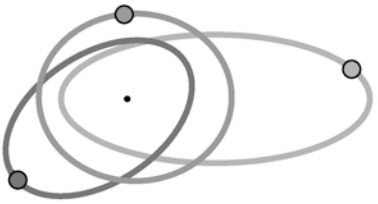


开普勒三定律的文字、图像表述

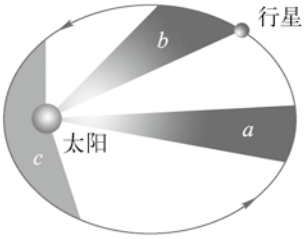
标签2

开普勒定律

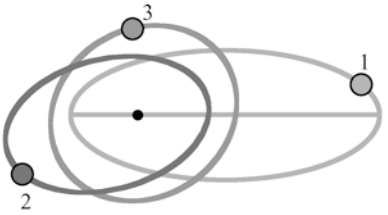
第一定律：所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆，太阳处在椭圆的一个焦点上



第二定律：对于任意一个行星来说，它与太阳的连线在相等的时间内扫过相等的面积



第三定律：所有行星的轨道的半长轴的三次方跟它的公转周期的二次方的比值都相等 $\frac{R^3}{T^2}=k$



三、点拨与提高

1. 关于椭圆的一些概念（如图 6-1-7 所示）

中心 O：长轴线和短轴线的交点。

焦点 F：如图 6-1-7，F_1F_2.

长轴：较长轴线 MN。半长轴：$a=OM$

短轴：较短轴线 KQ。半短轴：$b=OK$

远点：对某个焦点 F_1 到椭圆上最远一点的距离，$F_1N=A$

近点：对某个焦点 F_1 到椭圆上最近一点的距离，$F_1M=P$

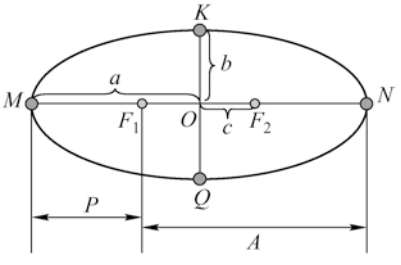


图6-1-7

2. 椭圆的离心率

椭圆扁平程度的一种量度，离心率定义为椭圆两焦点间的距离和长轴长度的比值。$e=\frac{A-P}{A+P}=\frac{c}{a}$ 离心率越大，椭圆越扁平。

3. 太阳系一些行星的离心率参数

表6-1-2　离心率参数

行星	离心率
水星	0.206
金星	0.007
地球	0.017
火星	0.093
木星	0.048
土星	0.056
天王星	0.047
海王星	0.009
冥王星	0.25
哈雷彗星	0.967

4. 画出离心率为 0.017（地球）和离心率为 0.967（哈雷彗星）的椭圆

（1）画彼此垂直的直线，交点为 O 点。

（2）取一根细线对折打结，拉紧时长度为 10cm。

（3）计算焦点的距离 $d=\frac{2e(10\text{cm})}{e+1}$，确定 2 焦点位置，在 O 点左、右侧各 $\frac{d}{2}$ 处画出 2 个焦点。用两个摁钉按在焦点的位置。

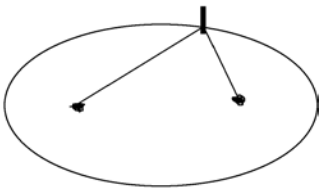


图6-1-8

（4）如图 6-1-8 所示，用细线套过 2 个焦点处的按钉，用铅笔绷住细线围绕按钉周边画一周。

（5）代入第二个离心率数值，用另外颜色笔重复 3 ~ 4 步骤。

（6）观察离心率不同的两个椭圆扁平程度，体会离心率大小和椭圆扁平程度的关系。

（7）说明：离心率小于 0.3 时，椭圆可近似处理看成圆。

5. 8 分误差（1.133 度）中成就的开普勒

在对行星的研究中，开普勒的目光首先盯住火星，开普勒利用第谷的观测数据，按照传统的偏心圆来探求火星的轨道。虽然进行了几十次的尝试，但计算出来的火星位置和第谷数据之间还是相差 8 分（即 1.133 度），这个角度相当于表上的秒针在 0.02 秒瞬间转过的角度。开普勒写道：“我预备征服战神马尔斯，把它俘虏到我的星表中来，这个星空中狡黠的家伙，出乎意料地扯断我给它戴上的用方程连成的枷锁，从星表的囚笼中冲出来，逃往自由的宇宙空间去了。”

会不会是第谷弄错了呢？也许寒冷的冬夜把第谷的手指冻僵了，以致观测失误了呢？开普勒认为：“这 8 分是不允许忽略的。”开普勒由此指出行星绕着太阳在轨道上运行的速度是有变

化的。从而得到了他的第一个重大的发现：太阳和行星的连线在相等的时区内扫过相等的面积——开普勒第二定律。

开普勒乘胜进击，尝试用各种椭圆形作为行星的可能轨道，经过多次的更艰苦计算，最后得到了开普勒第一定律：所有的行星分别在大小不同的椭圆轨道上围绕太阳运动，太阳是在这些椭圆的一个焦点上。1609 年开普勒出版了他的《火星之论述》发表了他的第一和第二定律。

紧接着，开普勒开始探求行星公转周期和他们与太阳之间的距离的关系。对于水星等六个行星的轨道半径和运行周期之间有没有内在的联系呢？经过 10 多年繁复的计算和无数的失败，他终于发现了第三定律：行星公转周期的平方和它们轨道的长轴的立方是成正比的。

在 1619 年出版的《宇宙谐和论》一书中，开普勒发表了他的第三定律。他情不自禁的写道："我沉湎在神圣的狂喜之中……我的书已经完稿。它不是会被我的同时代人读到就会被我的子孙后代读到——这是无所谓的事。它也许需要足足等上一百年才会有一个读者，正如上帝等了六千年才有一个人理解他的作品。"

开普勒的一生，几乎都是生活在逆境之中：疾病缠绕着他，贫困包围着他。有人这样评论说：第谷的后面有国王，伽利略的后面有公爵，牛顿的后面有政府，而开普勒有的只是疾病和贫困。然而他坚信"失败只是向新的灿烂的幻想之路上的起步。"开普勒最终荣获了"天空的立法者"的称号，为天文学、物理学的发展做出了不朽的贡献！

参考资料：

1. 赵凯华，张维善．新概念高中物理读本．北京：人民教育出版社，2006

2．百度百科：词条开普勒，http://baike.baidu.com/view/4416.htm。

3．中国科普网：词条开普勒，http://www.kepu.gov.cn/kp_mantan.asp

4．http://cs.ttcn.cn/data/ttcn_resource/gzpd/xsxt/04-05shang/g2ls/02/data/zstz09.htm

5．新浪网页：http://news.sina.com.cn/w/2003-09-22/16011793159.shtml

第二节　万有引力定律

体验篇



艾爷爷拿出一幅图（图 6-2-1）。

艾爷爷：“谁能告诉我这幅图里面的两条虚线是什么？”

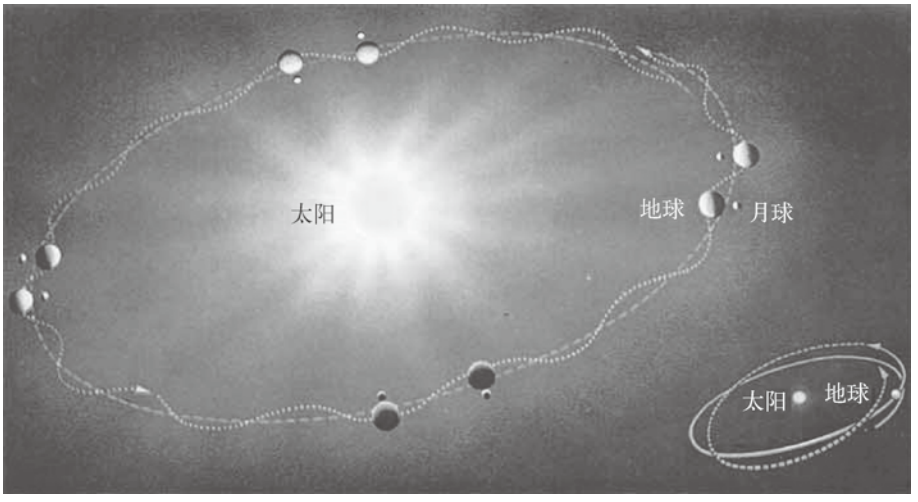


图6-2-1

http://jwc.cugb.edu.cn/dizhi/cugb_jpkc/diqiu/jiaoan/images/1/a17.jpg

小芳：“先看清研究对象，中间是太阳，周围的是地球和月亮。椭圆形图线是地球绕太阳的轨迹，波浪线是月亮的轨迹。月球的轨迹这么复杂？那我们平时说月球绕地球做圆周运动对不对呢？”

阿牛：“因为参照物不同。以太阳为参照物，月球就做这种‘波浪线’似的圆周运动了。”

机灵鬼：“噢，原来如此。我还有个问题，地球绕太阳做圆周运动属于变速运动，这个向心力是谁给的呢？月球受什么样的力才能使它做这么复杂的运动？”

艾爷爷：“孩子们都表现不错。好的问题是成功的开始！机灵鬼的问题涉及星球运动的动力学问题，看看当年科学家们是怎么研究的。”

学习篇

一、万有引力的诞生

艾爷爷拿出一张图（图 6-2-2）。

标签1



艾爷爷：“提出行星运动三定律的开普勒认为太阳和行星会像磁铁一样互相吸引，他还认为这种作用和距离的一次方成反比。不过开普勒还未证明自己的猜想，就英年早逝。”

1673 年，惠更斯提出了做圆周运动的物体的向心力公式。

1679 年，胡克和哈雷由惠更斯推导出的向心力公式和开普勒第三定律，提出一种假设，即维持行星运动的万有引力和它们到太阳距离的平方成反比，不过无法证明。

艾爷爷：“考考你们，根据牛顿第二定律、圆周运动的公式推导一下开普勒第三定律。”



惠更斯，1629—1695，荷兰天文学、数学、物理学家



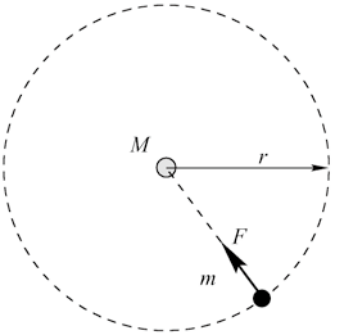
胡克，1635—1703，英国实验物理学家，仪器发明家



哈雷，1656—1742，英国数学家，天文学家

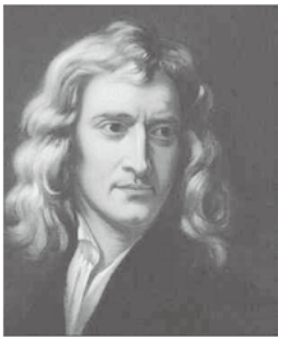
图6-2-2

表6-2-1

思维操作	解答过程
情境图	 会画图
研究对象	m
物理模型	圆周运动
适用规律	牛顿第二定律：$F_{向}=ma$ 向心加速度公式 $a_{向}=\frac{v^2}{r}=\frac{4\pi^2}{T^2}r=4\pi^2f^2r=\omega v$ 开普勒定律：$\frac{r^3}{T^2}=k$
特定条件	略
决策	略
运算过程	$F=m\frac{4\pi^2}{\frac{r^3}{k}}r=4\pi^2k\frac{m}{r^2}$
分析结果	因为对某一研究对象 m，$4\pi^2k$ 为常数，所以 $F\propto\frac{m}{r^2}$

二、万有引力定律的得出

牛顿（图 6-2-3）解决了胡克等人没有能够解决的数学论证问题。假定太阳吸引各行星的力，地球吸引月球的力以及地球吸引地面上物体的力都是同样性质的力，遵从着同样的规律，牛顿借助于微积分这一新的数学工具，严格地证明了开普勒三定律，且分别说明了支配行星运动的力的特征。面积定律表明作用于行星的力是沿着行星和太阳的连线方向的，牛顿认为这个力只能是源于太阳的。轨道定律表明太阳作用于给定行星的力是吸引力，它与行星到太阳中心的距离的平方成反比；周期定律表明太阳对于不同行星的吸引力都遵从平方反比关系。



牛顿，1643—1727，英国数学家、物理学家、天文学家和自然哲学家

图6-2-3

艾爷爷：“简单地说，在表 6-2-1 运算的基础上，牛顿继续下面的运算过程（表 6-2-2）”。

表6-2-2

运算过程	$F=m\frac{4\pi^2}{\frac{r^3}{k}}r=4\pi^2k\frac{m}{r^2}$，所以 $F\propto\frac{m}{r^2}$　① 由牛顿第三定律，作用力与反作用力的大小有关系式 $F=F'$　② 对太阳，受到行星给的作用力 $F\propto\frac{M}{r^2}$　③ 由①、②、③式得 $F_{Mm}\propto\frac{Mm}{r^2}$ 设比例系数为 G，$F_{Mm}=G\frac{Mm}{r^2}$
分析结果	太阳与行星之间的引力与质量乘积成正比，与距离平方成反比

艾爷爷：“接着牛顿做了两个推广。第一，把行星绕太阳的圆周运动受到的向心力和苹果落地时自由落体运动受到的重力统一起来。第二，把万有引力从行星、太阳和苹果地球推广到宇宙中任意两个物体之间。”

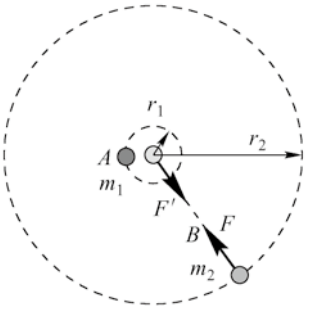
阿牛：“把直线与曲线统一起来，不简单！宇宙中的任意两个物体？那岂不是‘可上九天揽月，可下五洋捉鳖！’把天上地上统一了！”

艾爷爷：“是啊，正如拉普拉斯评论万有引力定律时说的‘给予人类智慧与光荣’。除了推广，牛顿还做出了证明。可见他思维的缜密！”艾爷爷随手拿出一张纸边画边讲起来（表 6-2-3）。



三、牛顿对万有引力的证明

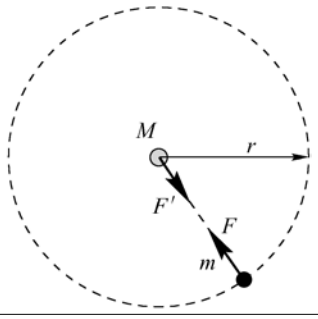
表6-2-3

思维操作	解答过程
情境图	 会画图
研究对象	苹果 月球
物理模型	苹果自由落体、月球绕地球匀速圆周运动
适用规律	重力公式 $G_0=mg$；万有引力定律：$F_m=\mathrm{G}\frac{Mm}{r^2}$
特定条件	$\vec{F}_{万}-\vec{F}_{向}=\vec{G}_0$（此处的箭头表示矢量相减，满足平行四边形法则）忽略自转时，$F_{向}=0, F_{万}=G_0$
运算过程	对地球上物体 m 受地球引力产生重力： $F_{m地}=\mathrm{G}\frac{Mm}{r_{地}^2}=mg_{地}$　　$g_{地}=\mathrm{G}\frac{M}{r^2}$ 对月球绕地球运动万有引力充当向心力： $F_{月月}=\mathrm{G}\frac{MM_{月}}{r_{月地}^2}=M_{月}g_{轨}$　　$g_{轨}=\mathrm{G}\frac{M}{r_{月地}^2}$ 已知 $r_{月地}=60r_{地}$，则有 $g_{月}=\mathrm{G}\frac{M}{(60r_{地})^2}$ 根据观测数据，$g_{月}=\frac{4\pi^2}{T_{月}^2}r_{月}$，$T_{月}=27.3$ 天 可得 $g_{月}=\frac{1}{60^2}g_{地}$，计算与观测相符
分析结果	地表物体所受重力和月球绕地球所受的引力满足同样规律，应该是同一种引力

艾爷爷：“地球与地表物体距离较近，它们之间的引力不能看成质点间的引力，为此牛顿发明了微积分。1687 年出版的《自然哲学的数学原理》中发表了万有引力定律和被视为经典物理学基础的牛顿三个运动定律。下面，先来梳理一下万有引力定律的知识吧。”

四、万有引力定律

表6-2-4

万有引力定律定律	
适用条件	质点 其他情况：（1）从均匀球体外部看，可认为全部质量集中在球心 （2）当研究物体不能看成质点时，可把物体假想分割成无数个质点，求出一个物体上每个质点与另一物体上每一个质点的万有引力，然后求合力（积分）
内容	自然界中任何两个物体都是相互吸引的，引力的大小跟这两个物体的质量的乘积成正比，跟它们的距离的平方成反比
数学表述	表达式：$F_{万}=G\frac{m_1m_2}{r^2}$　单位：$N=(N\cdot m^2/kg^2)\frac{kg\cdot kg}{m^2}$ G：引力常数
方向	沿两质点连线，相互吸引
作用点	质心
图像表述	 会表达
矢量标量	矢量
会说话	边画图边描述万有引力定律的内容（文字、大小、方向、作用点、适用条件）。说给同学、家长或自己听

标签2

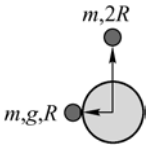
阿牛：“万有引力定律只适用于质点之间？讨论地球和苹果之间的引力时，地球的大小应该不能忽略，万有引力还适用吗？”

艾爷爷：“这就是牛顿数学才能展示的时候了，他把地球划分成无限多份，每一份看成一个质点，地球和苹果的引力 = 这些质点和苹果引力的矢量和。牛顿发明了微积分的数学方法，并成功地把它应用在这个问题的证明上。数学手段的落后常常成为物理学研究中的瓶颈，牛顿取得如此大的成就也因为他是一个物理 + 数学天才。”

标签5

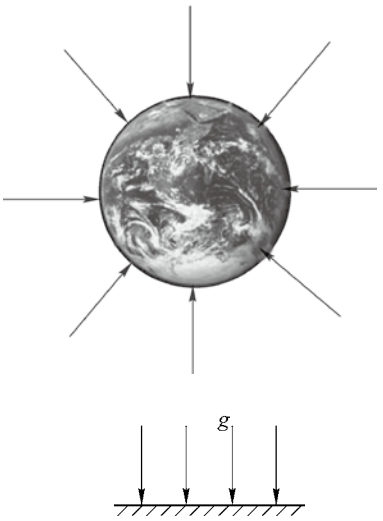
【例题 1】

地球表面重力加速度为 g，忽略地球自转的影响，在距地面高度为 R 的空中重力加速度是地面上重力加速度的几倍？（已知地球半径为 R）

思维操作	解答过程
研究对象	m，M
情境图	 会画图

标签4

续表

物理模型	重力场（万有引力场）模型： （1）忽略地球自转时重力场就是万有引力场 （2）两种空间范围的处理方法 ① 大尺度空间范围。重力加速度指向地心 $g \propto \frac{GM}{r^2}$ 靠近地球时 g 较大，远离地球时 g 较小 ② 小尺度空间范围。例如在地球表面，研究自由落体和平抛运动时，r 变化很小，可以认为 g 不变 
适用规律	重力公式 $G_0=mg$ 万有引力定律：$F_m=G\frac{Mm}{r^2}$
特定条件	$\vec{F}_{万}-\vec{F}_{向}=\vec{G}_0$（此处的箭头表示矢量相减，满足平行四边形法则），当忽略地球自转时认为重力等于万有引力，即 $F_{向}=0, F_{万}=G_0$
决策	$F_{万}=G\frac{Mm}{r^2}=mg$
运算过程	m 在地表，重力加速度为 g，$mg=G\frac{Mm}{R^2}$ m 在 R 高处，设重力加速度为 g'，$mg'=G\frac{Mm}{(2R)^2}$ 所以，$\frac{g}{g'}=\frac{(2R)^2}{R^2}=\frac{4}{1}$
分析结果	（1）距离越远，万有引力越小，且满足平方反比的规律。物理到地心距离 r 等于 2 倍地球半径 R（即 $r=2R$），它受到的万有引力是位于地表时的 $\frac{1}{4}$ （2）由于地球自转，重力为万有引力的一个分力，另一个分力提供物体随地球自转的向心力。忽略自转时，近似认为重力等于万有引力
会操作	独立完成解题的这八个规范操作步骤！通过交流确信你能独立重复！

小芳：“那就是说我的体重是 600N，如果我停在离地面的竖直高度为 6380km（地球半径）时，我的体重就变成 _____ ①了！如果取 g=10N/kg，用这个新体重除以 g，我的质量变成了 _____ ②。这是最快的减肥方法！”

机灵鬼：“不对，质量是不会变化的。你停在距离地面竖直高度为地球半径处时，你所在位置的

重力加速度就变成了 g'=_____g ③，按新的加速度算，你的质量不变。”

艾爷爷：“机灵鬼太棒了！”

初中我们总是认为重力加速度是个定值，有个附加条件就是“地表”。不过就算到喜马拉雅山顶海拔 8.848km，和地球的半径 6400km 比起来变化也非常小。地表的重力加速度

$$g=\frac{GM}{R^2}=\frac{GM}{(6400\times10^3)^2}$$

喜马拉雅山顶海拔约 9km 处，重力加速度

$$g'=\frac{GM}{(6409\times10^3)^2}\approx0.998g$$

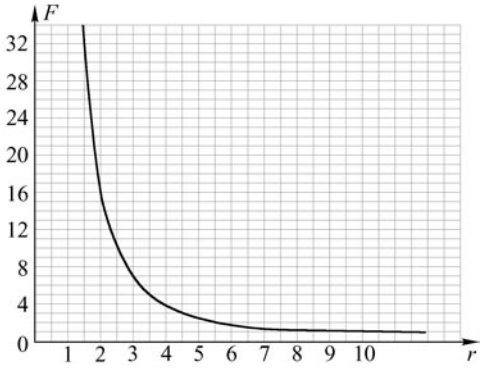


图6-2-4

此时的 g 变化不大。因此地表的重力加速度大小可认为是定值。由于引力随距离平方成反比，当物体之间距离变化很大时，引力的变化就不能忽略了。图 6-2-4 反映了与距离平方成反比的力的变化。小芳在地表受到重力（忽略自转时即万有引力）为 600N，重力加速度为 9.8m/s^2。当距离地面的高度 =6400km（地球半径）时，万有引力变为 150N，重力加速度也变为约 2.5m/s^2。此时万有引力和重力加速度的变化就不能忽略了。

【反馈】

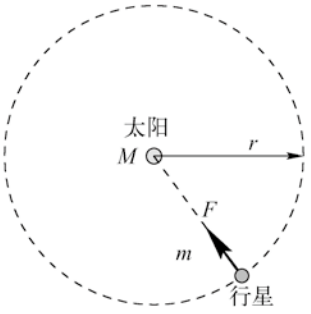
已知两质量均为 m 的均匀的球体 A、B，半径分别为 R 和 $4R$，两球心距离为 $6R$。已知引力常数为 G。按照规范步骤求出它们之间的万有引力

思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	
决策	
运算过程	
分析结果	

艾爷爷：“再考考你们，逆向思维，从万有引力出发推导开普勒第三定律，看能得到什么结论。”

【例题 2】

标签3 从万有引力出发推导开普勒第三定律

思维操作	解答过程
研究对象	行星 m
情境图	 会画图
物理模型	圆周运动
适用规律	（1）牛顿第二定律：$F=ma_{向心}$ （2）向心加速度公式：$a_{向心}=\frac{v^2}{r}=\omega^2 r=\omega v=\frac{4\pi^2}{T^2}r=4\pi^2 f$ （3）万有引力定律：$F_{万}=G\frac{Mm}{r^2}$
特定条件	万有引力充当向心力
决策	$F_{万}=F_{向}$
运算过程	万有引力充当行星运动的向心力 $G\frac{M_{日}m_{地}}{r^2}=m_{地}\frac{4\pi^2}{T^2}r\Rightarrow\frac{r^3}{T^2}=\frac{GM_{日}}{4\pi^2}=k$
分析结果	开普勒第三定律是一个实验的归纳定律，k 是多少并没有解决。万有引力定律根据力和运动的关系推出，可以知道定律中的 k 为一个和太阳质量有关的常数

我的训练营

1．提出万有引力定律的科学家是（　　）

A. 哈雷　　B. 胡克　　C. 牛顿　　D. 开普勒

2．月球环绕地球运动的轨道半径约是地球半径的 60 倍，若把地球表面的一个重为 3600N 的铅球静止放到月球轨道上，此时铅球受到的重力将为多少？（忽略地球的自转）

3．一卫星绕某行星做匀速圆周运动，已知行星表面的重力加速度为 g_0，行星的质量 M 与卫星

的质量 m 之比 $\frac{M}{m}$ =81，行星的半径 R_0 与卫星的半径 R 之比 $\frac{R_0}{R}$=3.6，行星与卫星之间的距离 r 与行星的半径 R_0 之比 $\frac{r}{R_0}$=60。设卫星表面的重力加速度为 g，则在卫星表面有 $\frac{GMm}{r^2}=mg$。

经过计算得出：卫星表面的重力加速度为行星表面的重力加速度的 $\frac{1}{3600}$。上述结果是否正确？若正确，列式证明；若有错误，求出正确结果。

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

方法的形成

★

★

结构图

知识体系	万有引力定律建立的思维过程与方法	思维操作

续表

知识体系	思维操作
万有引力定律的知识体系	
万有引力场中两种空间范围的处理方法	

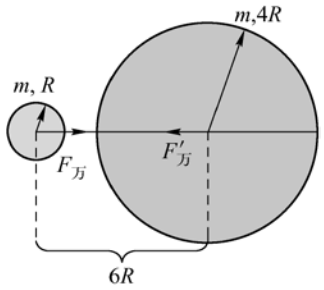
指导篇

一、参考答案

行文补丁

① 150N　② 15kg　③ $\frac{1}{4}$

反馈题答案

【反馈】	
思维操作	解答过程
研究对象	球体 A、B
情境图	 会画图
物理模型	虽然距离很近的球体无法看成质点，但由于它们是质量分布均匀的球体，相互间万有引力的作用效果相当于集中作用在球心上
适用规律	万有引力定律 $F=G\frac{Mm}{r^2}$
特定条件	质量均匀的球体 两球心距离为 $6R$
决策	应用万有引力定律
运算过程	$F=G\frac{m\cdot m}{(6R)^2}=G\frac{m^2}{36R^2}$
分析结果	r 为质点之间的距离，此处为球心距

训练营答案

1．C

2．1N

3．题中所列关于 g 的表达式并不是卫星表面的重力加速度，而是卫星绕行星做匀速圆周运动的向心加速度。正确的解法是

卫星表面 $\frac{Gm}{R^2}=g$，行星表面 $\frac{GM}{R_0^{\ 2}}=g_0$，两式相除 $\left(\frac{R_0}{R}\right)^2\frac{m}{M}=\frac{g}{g_0}$，即 $g=0.16g_0$

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 万有引力定律的建立过程、万有引力定律的推导过程、如何验证 标签1

★ 万有引力定律的文字表述、数学表述、图像表述、方向、适用条件 标签2

★ 通过万有引力定律可以推出开普勒第三定律中的 k 标签3

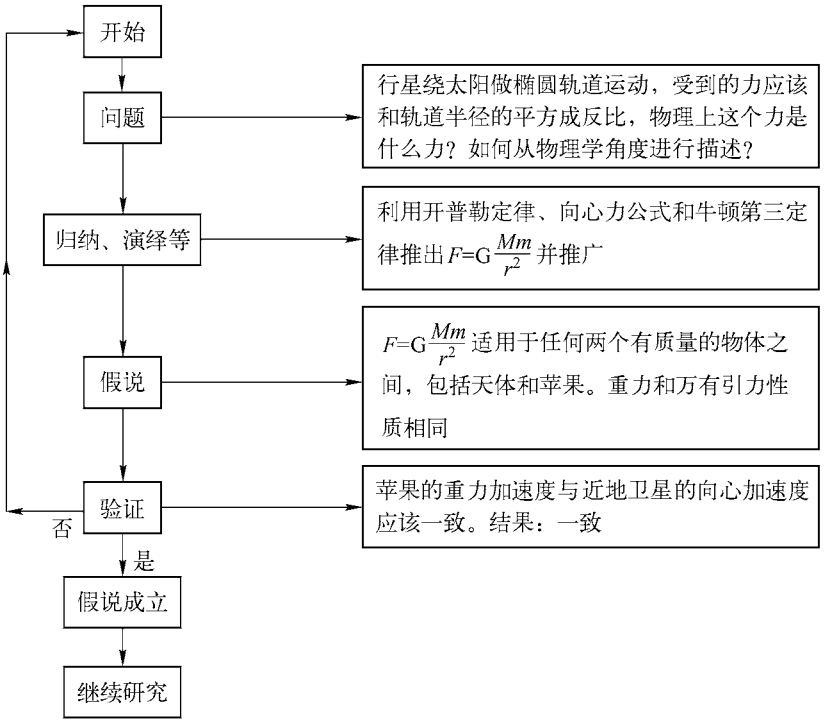
方法的形成

★ 解题的规范操作方法 标签4

★ 微积分的思维方法 标签5

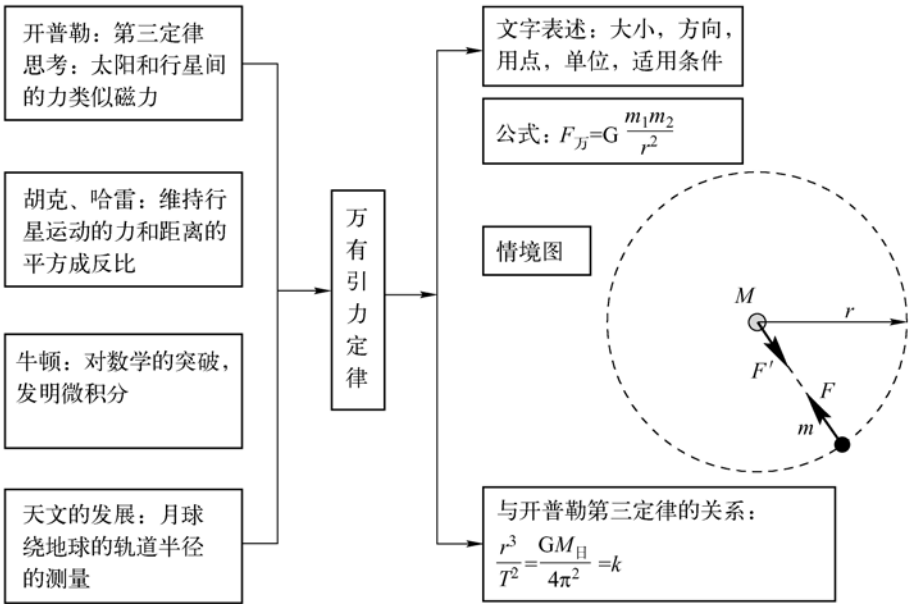
知识体系 **思维操作**

万有引力定律建立的思维过程与方法 标签1

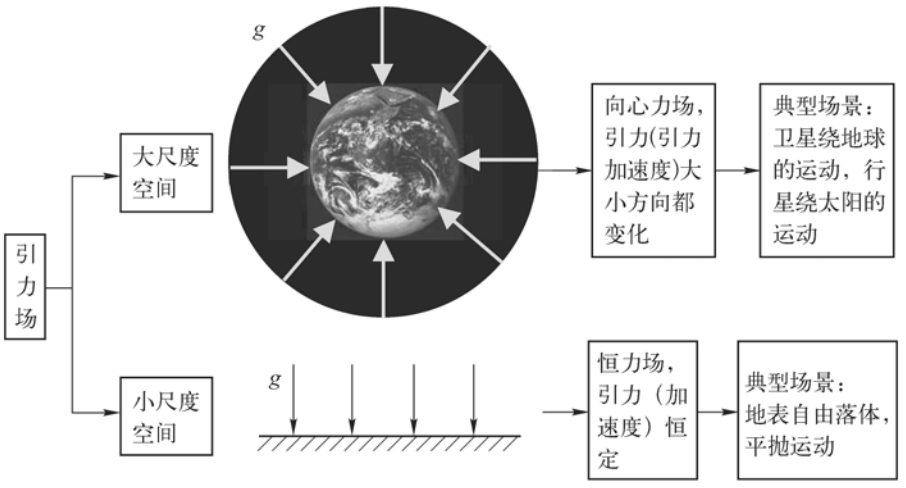


知识体系　　思维操作

万有引力定律的知识体系　　标签2



万有引力场中两种空间范围的处理方法　　标签6



三、点拨与提高

万有引力与重力



忽略自转，物体受到的重力就是地球对物体的万有引力。考虑自转，重力为万有引力的一个分力，如图 6-2-5 所示。

$\vec{G}=\vec{F}_{万}-\vec{F}_{向}$，$F_{万}=G\dfrac{m_1m_2}{r^2}$；$F_{向}=m\omega^2r$。

两极处：$F_{向}=0$，G 最大。

赤道处：$F_{向}$最大，G 最小。

代入地球自传的角速度公式

$\omega=\dfrac{2\pi}{T}=\dfrac{2\times3.14}{24\times3600}=7.3\times10^{-5}\,\text{rad/s}$，

$R=6.4\times10^{6}\,\text{m}$；$g=9.8\text{m/s}^2$。

计算赤道处最大的向心加速度值：

$a_{向\,\max}=\omega^2R=(7.3\times10^{-5})^2\times6400\times10^3=0.034\ \text{m/s}^2$

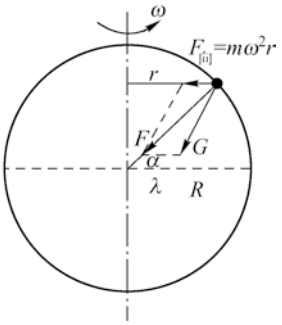


图6-2-5

在赤道，g=(9.8–0.034)m/s^2。在两极，$g_{max}=g$。重力与万有引力相差很小，近似计算时可以认为重力等于万有引力。

第三节　引力常数的测定　万有引力的应用

体验篇

小芳：“艾爷爷，我为什么感觉不到我和机灵鬼之间的引力？万有引力真的存在吗？”

艾爷爷：“牛顿提出万有引力定律后很多科学家也提出了和你们类似的质疑，因为牛顿在提出万有引力定律时 遗留了一个问题——没有给出引力常量 G 的大小。”艾爷爷边说边随手画了一幅图（图 6-3-1）。

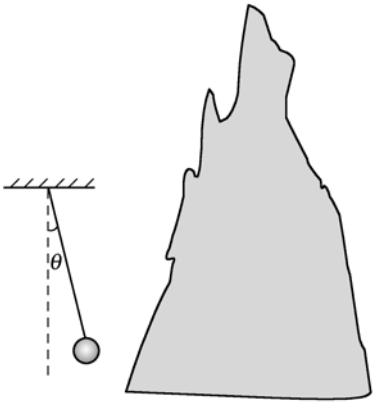


图6-3-1

牛顿设想过几种测定引力常量的方法：一是将系有重物的细长线悬挂在大山的旁边，由于大山对重物有引力作用，悬线与铅垂线间将有一定的偏角，从而可测定出引力常数。二是测定两物体的质量、相隔的距离及物体间的引力，直接由万有引力定律公式求出引力常数。但都没有成功。

艾爷爷：“牛顿的实验（图 6-3-1）设计上相对传统实验有什么优势？”

阿牛：“测量山和球的引力，山的质量很大，引力也应该比两小球之间的引力大。把弹力转变成张角，当绳子很长时，只要很小的张角就应该可以看出位置变化。”阿牛拿出一张纸画了张图（图 6-3-2）$F = mg\tan\theta$，F 一定，θ 一定，只要绳长 l 越长，$x = l\sin\theta$，水平位移 x 就越大。

艾爷爷：“非常好。但是牛顿仍然没有测出 G 值。阿牛的分析中出现了几个问题：第一，引力方向是水平的吗？第二，如果水平位移很小，那么空气扰动的影响能忽略吗？ 如果让你们来测量引力常量，你们有什么方法？ ”

小芳拿出一张纸，迅速画了一幅图（图 6-3-3）。

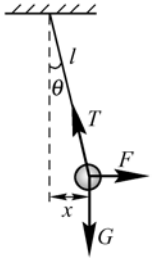


图6-3-2

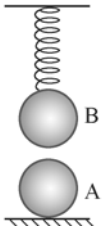


图6-3-3

小芳：“根据 $F_{万}=G\dfrac{m_1m_2}{r^2}\Rightarrow G=\dfrac{F_{万}r^2}{m_1m_2}$，测出它们的质量、距离，再测出它们之间的万有引力，代入公式就可以算出 G。万有引力测量麻烦些，测量不放 A 物体时 B 受到的弹力 F_1，再测量放

入 A 物体后 B 受到的弹力 F_2 后，两者的差值 F_2–F_1 就是万有引力的数值。质量可以用天平测量，距离就是球心距。”

“好设计！但是使用这个装置测量结果可能就会让你失望了。如果人肉眼能分辨的长度为 0.1mm，用一根劲度系数较小的弹簧 k=1N/m，这个弹簧测力计的精度为 $F=kx=10^{-3}$N，小于这个力时，你就看不到弹簧的形变。而两个 1kg 物体质心距为 1cm 时的万有引力仅为 10^{-5}N 数量级。”

机灵鬼：“后来是谁把引力常数测出来的？”

学习篇

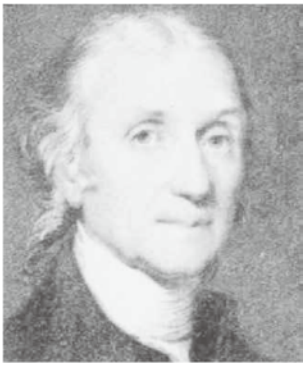
一、引力常数的测定——卡文迪许的扭称实验

标签1



100 年里科学家不断设计更精密的实验装置，直到英国的实验物理学家卡文迪许（图 6-3-4）发明了一个精巧的实验装置，才测出了较小质量的两物体间的万有引力，得到了引力常量的数值。

艾爷爷：“这是卡文迪许的实验装置简图（图 6-3-5）。仔细看一下，能分析一下这个实验装置的优势吗？”



卡文迪许，1731—1810，英国实验物理学家、化学家

图6-3-4

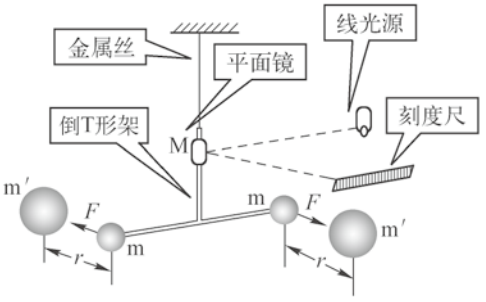


图6-3-5

标签3

机灵鬼：“让我来。金属球之间的引力越大，金属丝偏转的角度越大。扭力与扭转角度成正比，平面镜 M 随着金属丝转动。利用光学放大，转动 θ 的角度会引起线光源经平面镜的反射光线改变 2θ，使线光源、刻度尺离平面镜足够远，这样就会引起反射光斑在刻度尺上明显的移动！”

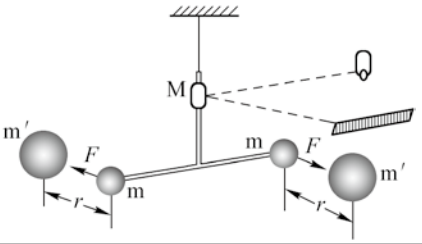
艾爷爷：“漂亮的设计，漂亮的分析！”但是扭力很小时空气扰动的影响就不能忽略了。为了避免空气扰动，卡文迪许把整个实验装置放在室内，自己利用望远镜在室外远距离观察和操控。并成功地测出了引力常数的数值。”

卡文迪许的测量值 $G=6.754\times10^{-11}\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$。现在公认的 $G=6.672\times10^{-11}\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$，和卡文迪许的测量值相差无几。

小芳：“这个设计太妙了！而且精度这么高，卡文迪许可真厉害！”

英国物理学家玻印廷说，卡文迪许的实验“开创了测量弱力的新时代”。现在请按照实验的规范操作模型把卡文迪许扭称实验思路整理一下吧。艾爷爷拿出一张表格（表 6-3-1）。

表6-3-1

步　骤	内　容
实验目的	测量引力常数
实验原理	$F_{万}=G\frac{m_1m_2}{r^2}\Rightarrow G=\frac{F_{万}\cdot r^2}{m_1\cdot m_2}$ 需要测量 r：两物体质心距 F：质量为 m_1、m_2 两个质点间的距离和万有引力 m_1、m_2：两物体的质量为 m_1、m_2 难点：万有引力大小测量（极小力的测量） 解决方法：扭称装置把微小力大小转变成金属丝扭旋转角度（一次放大），扭转角度绑定平面镜角度，使得反射光线打在刻度尺上的光斑移动（二次放大）
实验器材	下图仪器：天平、T 形架、小球 m 和 m'（各 1）、平面镜、点光源、刻度尺
实验装置	示意图 
实验步骤	略
实验数据	略
数据处理	略
实验结论	$G=6.754\times10^{-11}N\cdot m^2/kg^2$（现公认 $G=6.672\times10^{-11}N\cdot m^2/kg^2$）
会实验	和同学、家人叙述此实验的装置和原理！确信你能独立重复！

标签4

二、万有引力定律的应用

引力常数的测定使万有引力定律跨入了应用的环节。现在让我们来算算，地球围绕太阳运转受到的向心力。

1. 计算万有引力

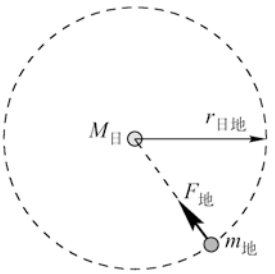
【例题 1】

若已知地球的质量为 6.0×10^{24}kg，太阳的质量为 2.0×10^{30}kg，地球公转轨道半径为 1.5×10^{8} km，地球围绕太阳公转受到多大的万有引力？再请根据向心力公式，计算实际需要的向心力

标签5

思维操作	解答过程
研究对象	地球（视为质点）

续表

情境图	会画图 
物理模型	视地球为质点，做匀速圆周运动
适用规律	（1）万有引力定律：$F_{万}=G\frac{M_{日}m_{地}}{r_{日地}^2}$ （2）牛顿第二定律：$F_{向}=m_{地}a_{地}$ （3）向心加速度公式：$a_{向}=\frac{v^2}{r}=\frac{4\pi^2}{T^2}r=4\pi^2f^2r=\omega v$
决策	万有引力定律、牛顿运动定律、向心加速度公式
运算过程	（1）$F_{万}=G\frac{M_{日}m_{地}}{r_{日地}^2}$ $=6.67\times10^{-11}\times\frac{2.0\times10^{30}\times6.0\times10^{24}}{(1.5\times10^{11})^2}=3.6\times10^{22}\text{N}$ （2）$F_{地}=m_{地}\frac{4\pi^2}{T^2}r_{日地}$ $=6.0\times10^{24}\times\frac{4\times3.14^2}{(365\times24\times3600)^2}\times1.5\times10^{11}=3.6\times10^{22}\text{N}$ （3）有效数字：题目已知中有效数字都是 2 位，则结果应该保留 2 位有效数字。如果题目给出已知有效数字位数不统一，则结果的有效数字不要求
分析结果	（1）单位是否正确？万有引力的单位应为 N （2）结论：太阳和地球之间的万有引力充当地球绕太阳运动的向心力
会操作	独立演练一下解题的这八个规范操作步骤！ 确信你能独立重复！

艾爷爷：“现在回到阿牛开始提出的问题，请大家都动笔算算，阿牛和机灵鬼之间的引力是多少？为什么感觉不到？”大家赶紧开始算起来。机灵鬼，你也开始吧！

【反馈】	
已知阿牛质量约为 70kg，机灵鬼质量约为 60kg，求他们距离约为 0.5m 站立时，相互间的万有引力	
思维操作	解答过程
研究对象	

续表

情境图	
物理模型	
适用规律	
决策	
运算过程	
分析结果	

看过大家的计算后，艾爷爷笑眯眯地又抛出一个问题。

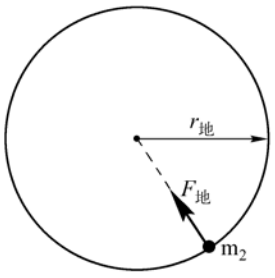
艾爷爷：“卡文迪许当时把扭称实验叫‘称量地球的实验’，通过这个实验怎么称量地球？卡文迪许测出地球密度为 $5.48\times10^{3}\text{kg/m}^{3}$。（现公认 $5.52\times10^{3}\text{kg/m}^{3}$）”

2. 计算地球的质量和密度

【例题 2】

地表重力加速度为 9.8m/s^{2}，引力常数 $G=6.67\times10^{-11}\text{N}\cdot\text{m}^{2}/\text{kg}^{2}$，地球轨道半径 R 约为 6380km，求地球的质量、密度

标签2

思维操作	解答过程
研究对象	地表的物体 m_2
情境图	 会画图
物理模型	静止

续表

适用规律	（1）万有引力定律 $F_{万}=G\frac{m_1m_2}{R^2}$ （2）静止在地球表面的物体重力 $G_0=m_2g$ （3）地球质量公式：$m_1=\rho V$；球体体积公式：$V=\frac{4}{3}\pi R^3$
特定条件	万有引力定律中有两个物体的质量，因此题目中需要在地球之外另选定一个研究对象 m_2
决策	忽略地球自传，物体受到的万有引力等于物体的重力 $F_{万}=G\frac{m_1m_2}{r^2}=G_0=m_2g$
运算过程	根据 $G\frac{m_1m_2}{R^2}=m_2g$ 有 $m_1=\frac{gR^2}{G}=\frac{9.8\times(6.4\times10^{-6})}{6.67\times10^{-11}}\text{kg}=6\times10^{24}\text{kg}$ 又因为 $m_1=\rho\frac{4}{3}\pi R^3$，结合上面的表达式联立有 $\rho=\frac{3g}{4G\pi R}$ $=\frac{3\times9.8}{4\times6.67\times10^{-11}\times3.14\times6.4\times10^{6}}\text{kg/m}^3=5.48\times10^3\text{kg/m}^3$
分析结果	（1）质量的单位应为 kg。密度单位为 kg/m^3 （2）地球密度应小于铁的密度，数量级为 10^3
会操作	记住解题的这八个规范操作步骤！ 确信你能独立重复！



艾爷爷：“如果测量太阳质量，需要哪些已知条件？”

阿牛：“和例题一样，需要太阳的半径，太阳表面的重力加速度。”

艾爷爷：“理论上说可以。但地球表面的重力加速度可以测量，太阳表面的重力加速度无法测量。太阳是气体球，半径无法界定。”

大家都不说话了。

艾爷爷：“给个提示：利用我们熟悉的地球。”



小贴士

常量和数据：

地球质量：$6\times10^{24}\text{kg}$

太阳质量：$2\times10^{30}\text{kg}$

地球半径：$6.4\times10^{6}\text{m}$

地球公转半径：$1.5\times10^{11}\text{m}$

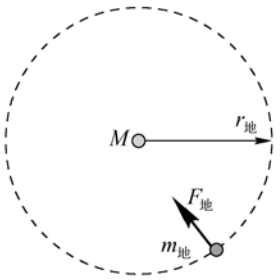
地球公转周期：365 天

地球自转周期：1 天

月球绕地球旋转周期：27.3 天

【例题 3】

已知：地球绕太阳公转轨道半径约为 6380km，求太阳质量（保留一位有效数字 ）

思维操作	解答过程
研究对象	地球
情境图	 会画图
物理模型	圆周运动
适用规律	（1）万有引力定律：$F_{万}=G\frac{Mm}{r^2}$ （2）牛顿第二定律：$F_{向}=ma_{向}$ （3）圆周运动向心加速度公式：$a_{向}=\frac{v^2}{r}=\frac{4\pi^2}{T^2}r=4\pi^2f^2r=\omega v$
特定条件	（1）隐含条件：地球绕太阳公转问题周期为已知量 （2）向心力公式应选择展开式含周期的
决策	对地球：绕太阳旋转所需的向心力由地球和太阳间的万有引力充当 $F_{万}=F_{向心}$
运算过程	$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r\Rightarrow M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}=\frac{4\times3.14^2\times(1.5\times10^{11})^3}{6.67\times10^{-11}\times(365\times24\times3600)}\text{kg}=2\times10^{30}\text{kg}$
分析结果	（1）质量的单位应为 kg （2）注意数量级运算，可以数字和数量级单算 （3）对于实际问题，例如太阳质量，计算后可以和小贴士中的实际太阳质量对比。实际太阳质量约为 2×10^{30}kg，计算无误
会操作	独立完成解题的这八个规范操作步骤！ 确信你能独立重复！

3. 预测未知星球

收集资料，讲讲万有引力最轰动的应用——海王星的发现和哈雷彗星定期访问地球的规律。

我的训练营

1．测出引力常数 G 值的是（　　）

A．牛顿　　B．胡克　　C．卡文迪许　　D．哈雷

2．根据月球周期 T=27.3 天，月球绕地球旋转的轨道半径为 60 倍 $R_{地}$，已知地球半径为 6380km，引力常数 G=6.67 × 10^{-11}N · m^2/kg^2 求地球的质量。

3．中子星是恒星演化过程的一种可能结果，它的密度很大。现有一中子星，观测到它的自转周期 $T=\frac{1}{30}$ s。问该中子星的最小密度是多少才能维持该星的稳定，不致因自转而瓦解。计算时星体可视为均匀球体。（引力常数 G=6.67 × 10^{-11}N · m^2/kg^2）（提示：整个球体上角速度一致，同一物体，距离球心越远，所需的向心力越大，当万有引力不足以提供向心力时，此物体将做离心运动。）

我的整理箱

知识的梳理

★

★

方法的形成

★

★

★

结构图

知识体系　　思维操作

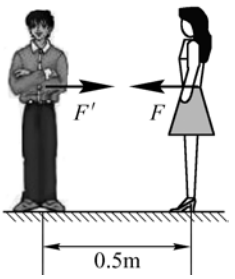
卡文迪许的研究内容与研究方法

万有引力定律的应用

指导篇

一、参考答案

反馈题答案

【反馈】	
思维操作	解答过程
研究对象	阿牛、机灵鬼
情境图	
物理模型	近似为两个质点
适用规律	万有引力定律 $F_{万}=G\frac{Mm}{r^2}$
决策	同上
运算过程	$F_{万}=G\frac{Mm}{r^2}=6.67\times10^{-11}\times\frac{70\times60}{0.5^2}=1.12\times10^{-8}\,N$
分析结果	（1）万有引力单位为 N （2）引力非常小，因此一般人是感觉不到的

训练营答案

1．C

2．$6\times10^{24}kg$

3．$1.27\times10^{14}kg/m^3$

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 引力常数的测量、数值　　标签1

★ 如何测量地球的质量和密度　　标签2

方法的形成

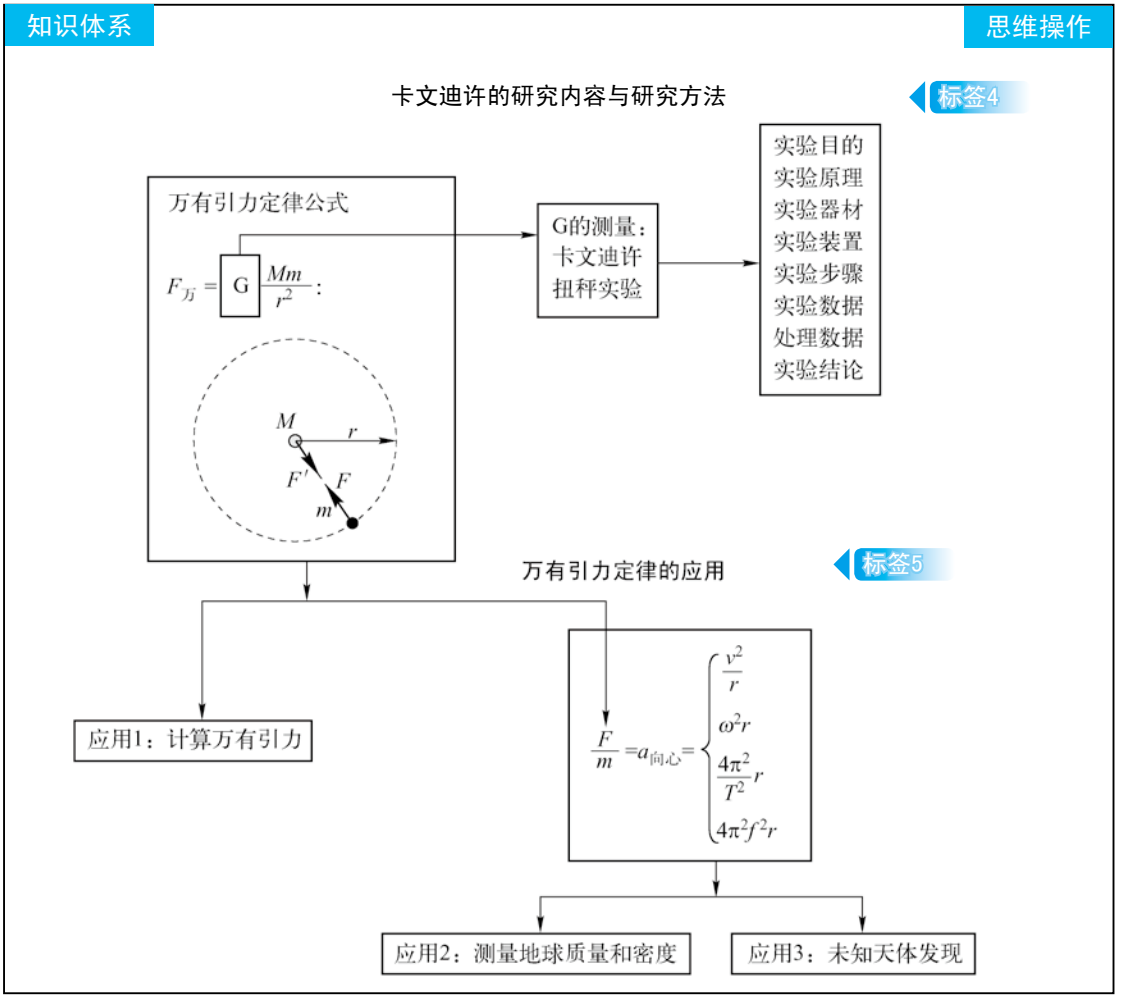
★ 卡文迪许扭称对于测量微小力的设计方法　　标签3

★ 实验的一般步骤 标签4

★ 规范解题的方法 标签5

结构图

知识体系 思维操作



三、点拨与提高

1. 关于卡文迪许的扭称实验



图 6-3-5 中，T 形架在两端质量为 m 的两个小球，受到质量为 m' 的两大球的引力作用下发生扭转，引力的力矩为 FL。同时，金属丝发生扭转而产生一个相反的力矩 $k\theta$，当这两个力的力矩相等时，T 形架处于平衡状态，此时，金属丝扭转的角度 θ 可根据小镜上的反射光在刻度尺上移动的距离求出，看平衡方程 $k\theta=FL$

$$G=\frac{F\cdot r^2}{m\cdot m'}=\frac{k\theta\cdot r^2}{L\cdot m\cdot m'}$$

L 为两小球的距离，k 为扭转系数可测出，r 为小球与大球的距离。

代入 $G=\frac{F\cdot r^2}{m\cdot m'}=\frac{k\theta\cdot r^2}{L\cdot m\cdot m'}$，可计算出 G 值。

2. 惯性质量、引力质量

惯性质量：在合外力的作用下，物体所获得的加速度不仅与力有关，而且还与物体本身的某种特性有关，这个特性就是惯性，引入惯性质量（inertial mass）这样一个物理量来表示物体惯性的大小。各物体的质量和它们在同样大小的合外力作用下所获得的加速度的大小成反比，即 $m_{惯性}=\frac{\sum F}{a}$。

引力质量：万有引力定律公式 $F_{万}=G\frac{Mm}{r^2}$ 中也包含质量，此质量用于确定两个物体之间的引力大小，由此引入引力质量（gravitational mass），$m_{引力}=\frac{r^2F_{引力}}{GM}$。天平测出的是引力质量的大小。

非常精密的实验证明，任何物体的惯性质量同它的引力质量成正比例。牛顿认为惯性质量和引力质量在数值上是相等的，这个假设称为“等效原理”，迄今所有的实验结果都支持这个假设。爱因斯坦应用这个等效原理作为他广义相对论的基本假设之一。

参考资料：

齐泽维茨（Zitzewitz,P.W.）（美）等著．钱振华等译．科学发现者——物理原理与问题．杭州：浙江教育出版社，2008

3. “学者中最富有的，富豪中最博学的”卡文迪许

他从祖上接受了大笔遗产，成为百万富翁。不过他一点也不吝啬。有一次，他的一个仆人因病生活发生困难，向他借钱，他毫不犹豫地开了一张一万英镑的支票。他留下的遗产据当时估计在一千万英镑之上。

在 18 世纪时，卡文迪许在自己家里装备了一座规模相当大的实验室，他终身在自己家里做实验工作，在热学理论、计温学、气象学、大地磁学等方面都有研究。在物理学上他最主要的成就是通过自己设计的扭秤验证了牛顿的万有引力定律，确定了引力常数和地球平均密度，计算出了地球的质量，被誉为第一个称量地球的人。

卡文迪许公开发表的论文并不多，他没有写过一本书。1810 年卡文迪许逝世后，他的侄子乔治把卡文迪许遗留下的 20 捆实验笔记完好地放进了书橱里，这些手稿在书橱里一放就是 70 年。直到 1871 年，另一位电学大师麦克斯韦仔细阅读了前辈在 100 年前的手搞，不由大惊失色，连声叹服说：“卡文迪许也许是有史以来最伟大的实验物理学家，他几乎预料到电学上的所有伟大事实。”

卡文迪许的后代将一笔财产捐赠剑桥大学于 1871 年建成卡文迪许实验室，近百年来卡文迪许实验室培养出的诺贝尔奖获得者已达 26 人。麦克斯韦、瑞利、J.J. 汤姆逊、卢瑟福等先后主持过该实验室。

参考资料：

http://baike.baidu.com/view/19638.htm?fr=ala0

http://tieba.baidu.com/f?kz=300774947

4. 海王星发现权之争

法国人布瓦德在计算天王星的运动轨道时，发现根据牛顿理论计算的轨道与测到的轨道并不一致。

英国剑桥大学的大学生亚当斯(图6-3-6)认为天王星的不规则运动来自一颗未知行星的扰动。1845 年，26 岁的亚当斯推算出该假设行星的轨道、质量和当时的位置。10 月 21 日他把计算的结果寄给了英国格林尼治天文台台长艾里，请求他用天文台的大型望远镜来观测这颗行星。不料，这位台长没有认真地对待青年天文学家的计算结果，把它束之高阁。

在亚当斯的报告在等待艾里的抽屉里的时候，1845 年法国大学教师勒威耶（ 图 6-3-7 ）也同时在紧张地对天王星的轨道运动进行推算和研究。1846 年 8 月 31 日，在亚当斯之后 10 个月，他将自己的报告寄给德国柏林天文台的天文学家加勒，报告自己的发现并请他进行观测。他在信中十分肯定地写道：“先生，您将看到这颗捣乱的行星只可能存在于黄道内的一个位置上。”

加勒在 9 月 23 日收到勒威耶的信后，马上把信交给了台长恩克。恩克当时对在天王星外是否存在一个新行星的问题存有疑心，刚好那天是他的生日，恩克希望这个晚上和家人一起度过。恩克允许加勒去验证勒威耶的新行星轨道计算数据。当晚加勒在勒威耶计算所指出的位置上，果然发现了一颗星图上没有记录的八等星——那是一颗小小的蓝色星星！在第二天晚上的观察中，这颗星的位置移动了，这表明它不是恒星。这颗新发现行星，后来被命名为海王星。



亚当斯，1819 — 1892
英国天文学家

图6-3-6



勒威耶，1811—1877 法国天文学家

图6-3-7

这个太阳系新成员的发现震撼了世界，通过天文学家的笔计算出一颗行星的位置，这是万有引力定律最辉煌的胜利！

英、法两国天文学界曾经为优先权问题进行过激烈的争论，关于发明权的争论并没有影响亚当斯和勒威耶的关系。1848 年亚当斯和勒威耶在伦敦相会，并且成了终身好友，并长期合作研究天体力学。

参考资料：

http://blog.sina.com.cn/s/blog_4a3d055b0100076l.html

http://fcwedding.blog.163.com/blog/static/119886790200989156516 98/

第四节　宇宙航行

体验篇

阿牛：“考考你们，看看这是什么？”阿牛扬着手里一张图片（图 6-4-1）。

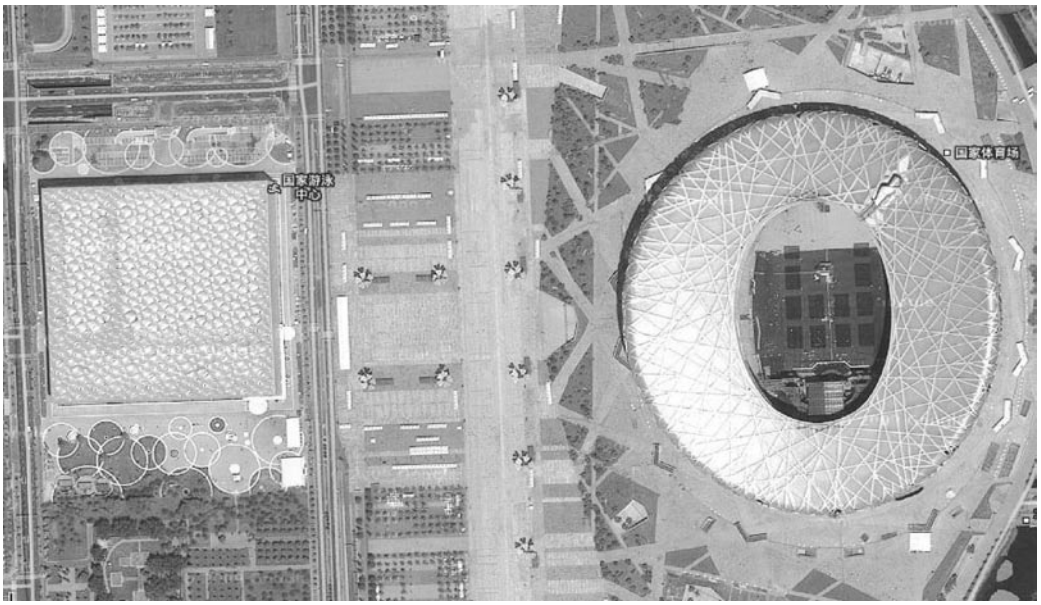


图6-4-1

http://ditu.google.cn/maps

小芳：“是鸟巢和水立方！这是飞机上拍的照片吗？”

阿牛：“是鸟巢和水立方，但不是从飞机上拍。再看另 2 张照片（图 6-4-2、图 6-4-3）。这 3 张照片是网上下载的卫星地图，从卫星上拍摄后向地面实时传送。民用的卫星照片分辨率最高可以达到 1 米，军用的据说分辨率可以达到 0.1m。艾爷爷，卫星是怎么送上天的呢？”



图6-4-2

http://ditu.google.cn/maps



图6-4-3

http://ditu.google.cn/maps

艾爷爷：“火箭上天实现人类遨游太空的梦，通信卫星实现地球上‘天涯若比邻’，GPS 实现全球定位和实时路况导航，气象卫星使得‘天有不测风云’成为过去……生活中我们已经离不开卫星了，而送卫星上天离不开万有引力定律。这节让我们共同探讨如何遨游太空吧！”

学习篇

一、宇宙速度

艾爷爷：“这是牛顿在发表万有引力定律时画的一幅图（图 6-4-4）。你们能解释这幅图蕴涵的玄机吗？”

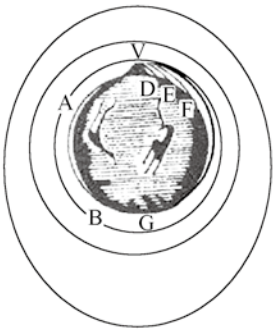


图6-4-4

小芳：“一个物体在地球表面无初速度时将自由下落；有水平方向初速度 v_0 时将做平抛运动。水平初速度越大，落到地面时水平的位移越大。初速度足够大时，物体将围绕地球做圆周运动，不再落回地面。”

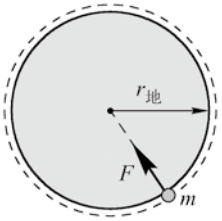
阿牛：“牛顿给出了苹果落体和卫星之间的联系，自由落体、平抛、圆周运动和椭圆轨道运动是受万有引力的物体在初速度不同时体现的不同运动形式。”

艾爷爷：“很好！不过这里牛顿忽略了空气阻力的影响。现在请你们算算，如果苹果成为卫星至少需要以多大的速度抛出？为了简化问题，忽略空气阻力。”

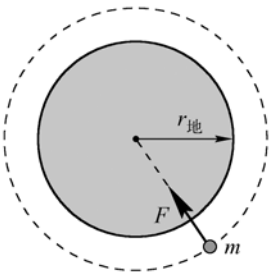
【例题 1】

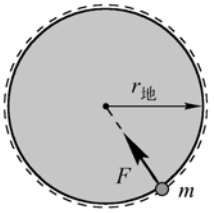
标签4

若已知地球的质量为 6.0×10^{24}kg，地球半径为 6.4×10^{6} m，求要让一个苹果能成为围绕地球旋转的卫星至少需要多大速度？

思维操作	解答过程
研究对象	苹果（视为质点）
情境图	会画图 
物理模型	匀速圆周运动
适用规律	（1）万有引力定律：$F_{万}=G\frac{Mm}{r^2}$ （2）牛顿第二定律：$F_{向}=ma_{向}$ （3）向心加速度公式：$a_{向}=\frac{v^2}{r}=\frac{4\pi^2}{T^2}r=4\pi^2f^2r=\omega v$
特定条件	由于“至少”苹果做圆周运动的最小半径就是地球的半径
决策	$F_{万}=G\frac{Mm}{r^2}=F_{向}=m\frac{v^2}{r}$

续表

<table>
<tr><td>运算过程</td><td>$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$
$\Rightarrow v=\sqrt{\frac{GM}{r}}=\sqrt{\frac{6.67\times10^{-11}\times6\times10^{24}}{6.4\times10^{6}}}\text{m/s}=7.9\times10^{3}\text{m/s}$</td></tr>
<tr><td>分析结果</td><td>（1）至少的含义：万有引力刚好提供了苹果做圆周运动的向心力，即 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$。若 $G\frac{Mm}{r^2}>m\frac{v^2}{r}$，苹果会落回地面；若 $G\frac{Mm}{r^2}<m\frac{v^2}{r}$，苹果会围绕地球做椭圆运动，那时地球是苹果轨迹的一个焦点
（2）近地卫星的问题
近地卫星距离地面的高度 h 一般在 100 ~ 200km，与地球半径 r=6400km 相比，$\frac{h}{r}\%=\frac{200}{6400}\%\approx3\%$。所以在处理近地卫星的问题时，其轨道半径可以近似地按照地球半径来处理


情境图（a）×


情境图（b）√
按照绘图比例，情境图（a）的轨道高度是地球半径的 23%，所以与近地卫星的实际情况不符；而情境图（b）的轨道高度是按照地球半径的 3% 绘制的，这样的情境是符合实际情况的</td></tr>
<tr><td>会操作</td><td>独立完成解题的这八个规范操作步骤！ 确信你能独立重复！</td></tr>
</table>

根据 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，当卫星环绕地球的轨道半径增大时，卫星的速度 _____①（填“增大”或“减小”或“不变”），这个速度是卫星环绕地球做匀速圆周运动的 _____②（填“最大”或“最小”）速度。

现在，我们可以通过计算机仿真技术来实施这个实验。

仿真实验操作提示	（1）请在电脑中放入随书附送的多媒体光盘，在“第六章”文件夹中找到“不同轨道上的卫星”实验文件，双击打开，开始实验。 （2）请双击“重新运行”，观察红、绿、蓝三颗卫星的运动 （3）请点击“重新运行”，点击“蓝色卫星加速”，观察加速后卫星的轨道和速度 （4）请点击“重新运行”，点击“蓝色卫星减速”，观察减速后卫星的轨道和速度 （5）请点击“重新运行”，点击“持续受到阻力”，观察卫星的轨道和速度 （6）点击“停止”回到初始状态，点击“暂停”可停在某一状态，此时可以看屏幕右上方的文字提示

请在操作后和同学或家人一起讨论下列问题，并将答案写入“会说话”栏。

（1）红色、绿色、蓝色卫星的空间关系？（轨道半径大小？）速度关系？（谁快？谁慢）

（2）蓝色卫星加速后（减速）轨道半径、速度如何变化？

（3）若持续受到阻力，卫星的轨道半径和速度如何变化？

会说话

仿真实验“不同轨道上的卫星”讨论结果

艾爷爷：“如果求角速度和周期呢？”大家赶紧开始算起来。

【反馈】

若已知地球的质量为 6.0×10^{24}kg，地球半径为 6.4×10^{6} m，求卫星在近地轨道围绕地球旋转时的角速度和周期

思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	

续表

适用规律	
特定条件	
决策	
运算过程	
分析结果	



设地表重力加速度为 g_0，根据 $\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}=\sqrt{\frac{gR_0^{\ 2}}{r^3}}$，当卫星环绕地球的轨道半径增大时，卫星的角速度 _____③_____（填“增大”或“减小”或“不变”）。

标签2

根据 $T=\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM}}=\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{gR_0^{\ 2}}}$，当卫星环绕地球的轨道半径增大时，卫星的周期 _____④_____（填“增大”或“减小”或“不变”）。

小芳：“绕地球的卫星最快的速度不能超过 7.9km/s，如果到达这个轨道的卫星速度高于这个速度会怎样？”

阿牛：“如果卫星所需要的向心力大于地球对卫星的万有引力，卫星将做离心运动。”

7.9km/s 叫做第一宇宙速度。

艾爷爷拿出笔，边画图（图 6-4-5）边讲。

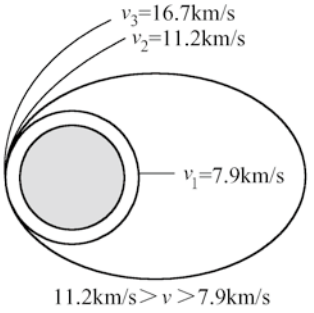


图6-4-5

标签1

艾爷爷：“在地面附近发射的飞行器，如果速度大于 7.9km/s，而小于 11.2km/s 时，它绕地球运转的轨道就不是圆，而是椭圆。大于 11.2km/s，飞行器将脱离地球的吸引，离开地球，成为太阳系的行星。**11.2km/s 叫做第二宇宙速度。**如果超过 16.7km/s，飞行器就会克服太阳引力的束缚，飞到太阳系外。**16.7km/s 叫做第三宇宙速度。**”

小芳：“艾爷爷，气象卫星，通信卫星，侦察卫星都在同一个条轨道上吗？”

艾爷爷：“我们先来做个实验吧！”

现在，我们可以通过计算机仿真技术来实施这个实验。

仿真实验操作提示	（1）请在电脑中放入随书附送的多媒体光盘，在“第六章”文件夹中找到“人造地球卫星”实验文件，双击打开，开始实验 （2）请点击左上角操作菜单的▶，观察人造地球卫星的运动。比较低轨、同步及高轨卫星的轨道半径和周期 （3）请点击右下角“极地卫星”，观察极地卫星的运行轨道 （4）点击左上角操作菜单的“暂停”“停止”可实现暂停、停止

请在操作后和同学或家人一起讨论下列问题并将答案写入“会说话”栏。

（1）低轨、同步、高轨卫星的空间关系，（轨道半径大小？）速度关系。（谁快？谁慢）

（2）极地卫星和地球自转的空间关系。

会说话

仿真实验室“人造地球卫星”讨论结果

二、地球卫星

卫星，是指围绕行星运行的天体。月亮环绕着地球旋转，就是地球的卫星。人工制造的绕地旋转的卫星叫人造地球卫星。

人造卫星的运行轨道通常有三种：地球同步轨道、地球静止轨道和极地轨道。

1. 地球同步轨道

标签3

卫星的运行周期等于地球的自转周期（23 小时 56 分 4 秒），且方向与地球自转一致。地球同步卫星分为**同步轨道静止卫星、倾斜轨道同步卫星和极地轨道同步卫星**。

艾爷爷：“地球同步卫星所在的轨道平面与赤道平面的夹角可以从 0° 到 90° 之间。”艾爷爷在纸上画了几笔（图 6-4-6）。

2. 地球静止轨道

当同步轨道卫星轨道面的倾角为**零度**，即卫星在地球赤道上空运行时，由于运行方向与地球自转方向相同，运行周期又与地球同步，因此，人们从地球上仰望卫星，仿佛悬挂在太空静止不动。把零倾角的同步轨道称做**静止轨道**，在静止轨道上运行的卫星称做**静止卫星**。一般通信卫星、广播电视卫星和某些气象卫星选用这种轨道比较有利。在地球同步轨道上布设 3 颗通信卫星，即可实现除两极外的全球通信。（图 6-4-7）

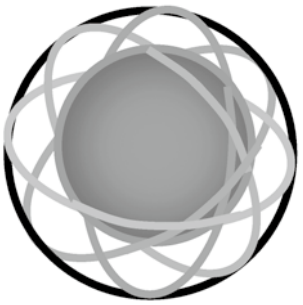


图6-4-6

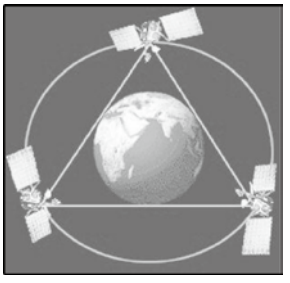


图6-4-7

3. 极地轨道

极地轨道是倾角为 90° 的轨道，在这条轨道上运行的卫星每圈都要经过地球两极上空，可以俯视整个地球表面。位于此轨道的卫星叫**极地卫星**。气象卫星、地球资源卫星、侦察卫星常采用此轨道。



艾爷爷：“你们能说明地球静止卫星所处的轨道吗？”

机灵鬼：“地球同步卫星周期为 24 小时，因此轨道半径一定。”

$$F_{引}=G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$$

$$r=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}=\sqrt[3]{\frac{6.67\times10^{-11}\times6\times10^{24}\times(24\times3600)^2}{4\times\pi^2}}\approx4.24\times10^7\text{m}$$

机灵鬼：“静止，说明卫星与地面角速度相同，它的周期与地球相同，且位于赤道轨道平面上。”

艾爷爷：“说得好！一起来讨论下面的这道题吧！”

【例题 2】

据媒体报道，嫦娥一号卫星环月工作轨道为圆轨道，轨道高度 200km，运行周期 127 分钟。若还知道引力常量和月球平均半径，利用以上条件不能求出的是（　）

A．月球表面的重力加速度　　B．月球对卫星的吸引力

C．卫星绕月球运行的速度　　D．卫星绕月球运行的加速度

思维操作	解答过程			
依据	万有引力充当地表的重力和卫星绕月球运行的向心力。已知环月卫星的轨道高度 h，运行周期 T，月球的半径 $R_{月}$，引力常数 G			
条件和分析	A	B	C	D
	月球表面的重力加速度 因为 $r=R_{月}+h$ $mg_0=G\frac{M_{月}m}{R_{月}^2}$ 所以 $g_0R_{月}^2=GM_{月}$　① $G\frac{M_{月}m}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$ 所以 $GM_{月}=\frac{4\pi^2r^3}{T^2}$　② 由①、②得 $g_0=\frac{4\pi^2r^3}{R_{月}^2T^2}$	绕月卫星的质量未知，向心力无法求	由 $v=\frac{2\pi\cdot r}{T}$ 可求	由 $a=\frac{4\pi^2}{T^2}r$ 可求
结论	错误	正确	错误	错误
会说话	请将这个问题的每个选项以“依据、条件和分析、结论”的方式对你的老师、同学或自己说一遍			

标签4

标签4

小贴士

（1）在研究月球（星球）表面重力加速度时，所用的公式 $mg_0=G\frac{M_{月}m}{R_{月}^2}$ 中，R 是月球（星体）的半径。

（2）公式 $gR_0^2=GM_{月}$ 常被称做“黄金代换”。

（3）在对地球卫星列的方程 $G\frac{M_{月}m}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$ 中，$r=R+h$，r 为轨道半径，h 为卫星距地面的高度，R 为地球半径。

三、宇宙航行的步伐

1. 简化的卫星发射升空过程

艾爷爷：“人造卫星升空是人类的伟大创举。现在，请你们来扮演工程师，参与简化的卫星发射升空的过程。”

现在，我们可以通过计算机仿真技术来实施这个实验。

仿真实验操作提示	（1）请在电脑中放入随书附送的多媒体光盘，在“第六章”文件夹中找到“卫星的变轨过程”实验文件，双击打开，开始实验 （2）请点击左上角操作菜单的▶，观察人造地球卫星第一次发射后进入近地轨道的运动轨道和速度 （3）请点击右下角“启动卫星变轨程序”，观察卫星的运行轨道半径和速度。点击“卫星发动机点火加速”，观察第一次卫星加速后轨道半径和速度的变化情况。稍后继续观察第二次加速后轨道半径和速度的变化情况 （4）点击左上角操作菜单或屏幕右下角的“暂停”“停止”可实现暂停、停止

请和同学或家人讨论下面问题。

（1）画出卫星从低轨变轨到高轨的发射过程历经的 3 个阶段（低轨圆轨道、过渡椭圆轨道、高轨圆轨道）的空间关系。

（2）从低轨到椭圆轨道的第一次点火位置应该在哪？从椭圆轨道到高轨道的第二次点火位置应该在哪？在“会画图”中标出。

（3）低轨和高轨卫星的速度关系？能量关系？在操作后和同学或家人一起谈谈你的观察结果，填入下面“会说话”栏。

会画图

仿真实验室“卫星的变轨过程”情境图

会说话

低轨卫星和高轨卫星的速度关系、能量关系

2. 宇宙航行的步伐

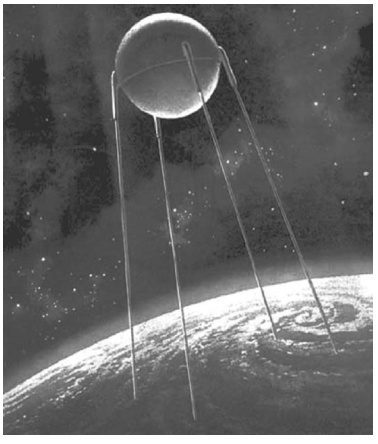
1903 年，前苏联科学家齐奥尔科夫斯基发表了世界上第一部喷气运动理论著作《利用喷气工具研究宇宙空间》，提出了液体推进剂火箭的构思和原理图，并推导出在不考虑空气阻力和地球引力的理想情况下，计算火箭在发动机工作期间获得速度增量的公式。

1957 年，前苏联成功发射第一颗人造地球卫星（图 6-4-8）。

1961 年，前苏联空军少校加加林实现载人太空飞行。

1969 年，美国人阿波罗 11 号飞船的指挥长阿姆斯特朗踏上了人类在月球上的第一步。

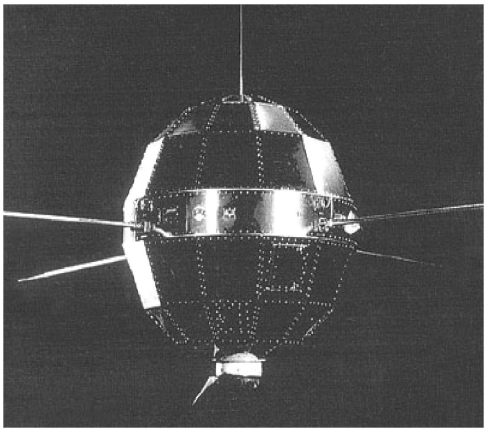
1970 年 4 月 24 日，我国第一颗人造地球卫星东方红 1 号（图 6-4-9）发射成功。



“斯普特尼克”人类第一颗人造地球卫星，前苏联发射

图6-4-8

http://www.ce.cn/culture/history/200710/10/t20071010_13184756.shtml



我国第一颗人造地球卫星

图6-4-9

http://www.shirisheng.com/wy_lmkz/lmkz_014.htm

1975 年，中国成功地发射并回收了第一颗返回式卫星。

2003 年 10 月 15 日，杨利伟搭乘“神舟”五号载人飞船在中国酒泉卫星发射中心发射升空。在太空中围绕地球飞行 14 圈，经过 21 小时 23 分、60 万公里的安全飞行后，于 16 日 6 时 23 分在内蒙古主着陆场成功着陆返回，实现中国的首次载人飞行。

2005 年 10 月 12 至 17 日，我国成功进行了第二次载人航天飞行，也是第一次将我国两名航天员—费俊龙、聂海胜同时送上太空。

2008 年 9 月 25 日，我国第三艘载人飞船“神舟”七号成功发射，三名航天员翟志刚、刘伯明、景海鹏顺利升空。翟志刚身着我国研制的“飞天”舱外航天服，进行了 19 分 35 秒的出舱活动。中国成为世界上第三个掌握空间出舱活动技术的国家。

我的训练营

1. 某人造地球卫星因受高空稀薄空气的阻力作用，绕地球运转的轨道会慢慢改变。每次测量中卫星的运动可近似看做圆周运动。某次测量卫星的轨道半径为 r_1，后来变为 r_2，$r_2<r_1$。以 E_{k1}、E_{k2} 表示卫星在这两个轨道上的动能，T_1、T_2 表示卫星在这两个轨道上绕地球运动的周期，则（　　）

 A．$E_{k2}<E_{k1}$，$T_2<T_1$　　B．$E_{k2}<E_{k1}$，$T_2>T_1$

 C．$E_{k2}>E_{k1}$，$T_2<T_1$　　D．$E_{k2}>E_{k1}$，$T_2>T_1$

2. 设想人类开发月球，不断把月球上的矿藏搬运到地球上，假定经过长时间开采后，地球仍可看做是均匀的球体，月球仍沿开采前的圆周轨道运动，则与开采前相比（　　）

 A．地球与月球间的万有引力将变大　　B. 地球与月球间的万有引力将变小

 C．月球绕地球运动的周期将变长　　D. 月球绕地球运动的周期将变短

3. 用 m 表示地球同步通信卫星的质量，h 表示卫星离地面的高度，M 表示地球的质量，R_0 表示地球的半径，g_0 表示地球表面处的重力加速度，T_0 表示地球自转的周期，ω_0 表示地球自转的角速度，则地球同步通信卫星的环绕速度 v 为（　　）

 A．$\omega_0(R_0+h)$　　B．$\sqrt{\dfrac{GM}{R_0+h}}$　　C．$\sqrt[3]{GM\omega_0}$　　D．$\sqrt[3]{\dfrac{2\pi GM}{T_0}}$

4. 如图 6-4-10 所示，O 点为地球的球心，实线圆表示地球赤道，虚线圆表示某一同步卫星轨道，A 点表示同步卫星所在位置。若已知地球的半径为 R，地球的自转周期为 T，地球表面处的重力加速度为 g。求同步卫星的高度。

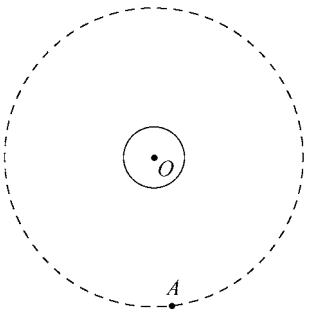


图6-4-10

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

方法的形成

★

结构图

知识体系　　思维操作

万有引力充当向心力

万有引力充当重力

万有引力加盟的力学体系

指导篇

一、参考答案

行文补丁

① 减小　② 最大　③ 减小　④ 增大

会说话

仿真实验室“不同轨道上的卫星”讨论结果：

（1）轨道半径 $r_{绿}=r_{蓝}>r_{红}$；旋转速度 $v_{绿}=v_{蓝}<v_{红}$

（2）加速后半径增大，速度变慢；减速后半径减小，速度变快

（3）持续受到阻力，卫星轨道半径变小，速度变快

会说话

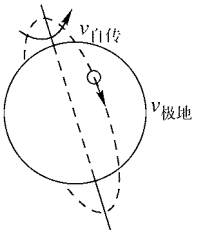
仿真实验室“人造地球卫星”讨论结果：

半径关系：$r_{低}<r_{同}<r_{高}$

速度关系：$v_{低}<v_{同}<v_{高}$

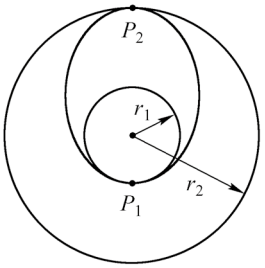
会画图

极地卫星和地球自转的空间关系



会画图

卫星从低轨变轨到高轨的发射过程历经的 3 个阶段的空间关系



会说话

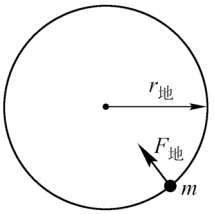
卫星的变轨过程讨论：

（1）第一次点火应该在 P_1 点，第二次点火应该在 P_2 点

（2）低轨卫星速度大于高轨卫星，能量小于高轨卫星

反馈题答案

【反馈】

思维操作	解答过程
研究对象	卫星
情境图	会画图 
物理模型	圆周运动
适用规律	（1）万有引力定律 $F_{万}=G\frac{Mm}{r^2}$；牛顿第二定律 $F_{向}=ma_{向}$ （2）向心加速度公式：$a_{向}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2 r=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$

续表

特定条件	（1）万有引力恰能满足圆周运动的向心力 （2）近地轨道：认为轨道半径等于地球半径
决策	从$F_{万}=G\frac{Mm}{r^2}=F_{向}=m\omega^2 r=m\frac{4\pi^2}{T^2}r=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2 r=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$中选择与 T 有关的规律
运算过程	$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$ $\Rightarrow T=\sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}=\sqrt{\frac{4\times\pi^2\times(6.4\times10^6)^3}{6.67\times10^{-11}\times6\times10^{24}}}=5.1\times10^3\text{s}$ $\approx84\text{min}\approx1.4\text{h}$ $G\frac{Mm}{r^2}=m\omega^2 r$ $\Rightarrow\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}=\sqrt{\frac{6.67\times10^{-11}\times6\times10^{24}}{(6.4\times10^6)^3}}\text{ rad/s}=1.2\times10^{-3}\text{ rad/s}$
分析结果	（1）单位是否正确？周期的单位应为 s，角速度单位为 rad/s （2）有效数字：题目已知中有效数字为 2 位，结果应该保留 2 位有效数字

训练营答案

1．C　　2．BD　　3．ABCD　　4．$h=\sqrt[3]{\frac{gR^2T^2}{4\pi^2}}-R$

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 第一宇宙速度、第二宇宙速度、第三宇宙速度　标签1
★ 卫星的速度、角速度、周期　标签2
★ 地球同步卫星　标签3

方法的形成

★ 天体做圆周运动的分析和解题方法　标签4

结构图

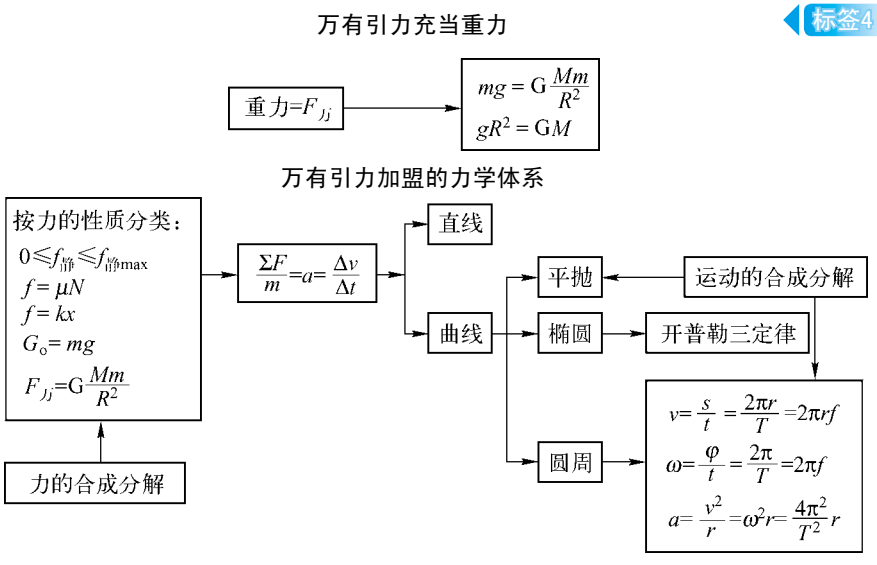
知识体系　　**思维操作**

万有引力充当向心力　标签4

$F_{万}=F_{向}$ →
$G\frac{m_1m_2}{r^2}=m\frac{v^2}{r}\Rightarrow v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$
$G\frac{m_1m_2}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r\Rightarrow T=\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM}}$
$G\frac{m_1m_2}{r^2}=m\omega^2 r\Rightarrow\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$

知识体系　　思维操作

标签4



三、点拨与提高

1. 关于人类第一次登月

“地球是人类的摇篮，但人类不可能永远被束缚在摇篮里。”这是被称做“火箭之父”的前苏联航天学家齐奥尔科夫斯基说过的话。

1969 年 7 月 16 日，“阿波罗 -11”号飞船经过长途跋涉，进入月球轨道，人类首次登月行动开始了。船长阿姆斯特朗首先走上舱门平台，面对陌生的月球世界凝视几分钟后，挪动右脚，一步三停地爬下扶梯。5 米高的 9 级台阶，他整整花了 3 分钟！ 随后，他的左脚小心翼翼地触及月面，而右脚仍然停留在台阶上。当他发现左脚陷入月面很少时，才鼓起勇气将右脚踏上月面。这时的阿姆斯特朗感慨万千：“对一个人来说这是一小步，但对人类来说却是一个飞跃！”18 分钟后，宇航员奥尔德林也踏上月面，他俩穿着宇航服在月面上幽灵似的“游动”、跳跃，拍摄月面景色、收集月岩和月壤、安装仪器、进行实验和向地面控制中心发回探测信息。整个飞行历时 8 天 3 小时 18 分钟，在月面停留 21 小时 18 分钟。 时间虽然短暂，却是一次历史性的壮举。如图 6-4-11 所示。



人类第一次登月

图6-4-11

参考资料：

http://zhidao.baidu.com/question/41028437.html

http://blog.tech110.net/?action-viewnews-itemid-1269

http://jrzb.zjol.com.cn/html/2007-09/02/content_2658960.htm

2. 我国的卫星和载人航天

自从 1970 年 4 月 24 日中国第一颗人造地球卫星——“东方红”发射成功以来，经过 30 年的发展，中国的卫星研制水平和制造技术不断提高，成功开发研制出了多种卫星，形成了不同的应用卫星系列。

按照国际电联的有关规定，我国对东经 125° 位置的使用权将因我国第一颗试验卫星于 1997 年 11 月份到期，在此之前，如果我国不发射新的通信卫星去占用，别国会去抢占这一位置。“东方红三号”国内通信、广播、电视传输卫星（图 6-4-12）于 1997 年 5 月 12 日从西昌卫星发射中心发射升空，准确地定点于东经 125° 赤道上空，为我国通信事业的发展立下汗马功劳。



东方红 3 号通信卫星

图6-4-12

http://special.cpst.net.cn/20080919/tszght/2008_09/221200414.html

2003 年 10 月 15 日，我国自行研制的“神舟”五号载人飞船在中国酒泉卫星发射中心发射升空，38 岁的杨利伟在太空中围绕地球飞行 14 圈，经过 21 小时 23 分、60 万公里的安全飞行后，于 16 日 6 时 23 分在内蒙古主着陆场成功着陆返回。

2005 年 10 月 12 至 17 日，我国成功进行了第二次载人航天飞行，费俊龙、聂海胜同时进入太空。

2008 年 9 月 25 日，我国第三艘载人飞船“神舟”七号发射，翟志刚、刘伯明、景海鹏顺利升空。27 日，翟志刚进行了 19 分 35 秒的出舱活动（图 6-4-13）。2008 年 9 月 28 日傍晚，“神舟”七号飞船成功降落。



2009 年 9 月 27 日神七航天员翟志刚出舱

图6-4-13

http://www.jynews.net/Item/24999.aspx

参考资料：

http://baike.baidu.com/view/22556.htm

http://special.cpst.net.cn/20080919/index.html

3. 空间站

全世界已发射了 9 座空间站。其中前苏联共发射 8 座，美国发射 1 座。按时间顺序讲，苏联是首先发射载人空间站的国家。1986 年 2 月 20 日发射入轨的和平号空间站，因部件老化（设计寿命 10 年）且缺乏维修经费，于 2001 年 3 月 23 日坠入地球大气层。

从 1998 年 11 月 20 号俄罗斯第一艘太空飞船 Zarya 升空以来，国际空间站已走过了十多个年头。通过航天飞机，空间站迎接了来自几十个国家的几百名科学家与游客。图 6-4-14 为发现号航天飞机和宿命号太空船的对接。

参考资料：

http://baike.baidu.com/view/21579.htm?fr=ala0

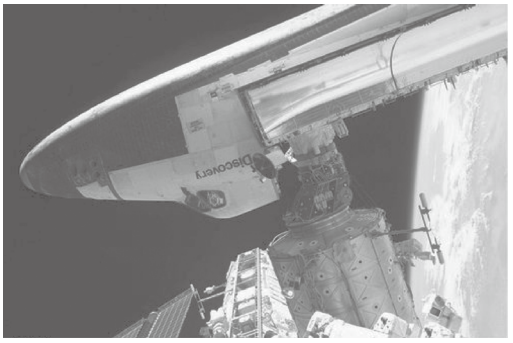
http://baike.baidu.com/view/4353.htm?fr=ala0

http://www.evolife.cn/?p=14762

4. 黑洞

广义相对论预言的一种特别致密的暗天体。质量至少大于太阳 20 倍的恒星在其演化末期发生塌缩，所有的物质将会被收缩到一个非常小的体积中。由于物质特别致密，引力场特别强以至于包括光子（即组成光的微粒，速度 $c=3.0\times10^8$m/s）在内的任何物质只能进去而无法逃脱。

黑洞其实也是个星球，只不过它的密度极大，靠近它的物体都被它的引力所约束（就好像人在地球上没有飞走一样）。对于地球来说，以第二宇宙速度来飞行就可以逃离地球，但是对于黑洞来说，它的第二宇宙速度之大，竟然超越了光速，而光速已经是极限速度了。所以连光都跑不出来，于是射进去的光没有反射回来，我们的眼睛就看不到任何东西，只是黑色一片。



2005 年 8 月 3 日，发现号与国际空间站对接，上方是发现号，下方是宿命号太空舱，右侧部分背景是地球，左侧黑色部分是宇宙空间。

图6-4-14

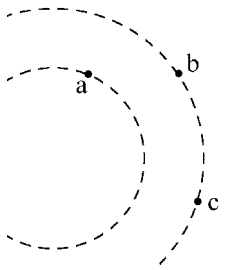
http://scitech.people.com.cn/GB/1057/4573312.html

自从黑洞理论提出以来，爱因斯坦和霍金都肯定了黑洞的存在，绝大多数科学家都致力于寻找黑洞确切存在的证据来完善黑洞理论，美国航空航天局甚至要给附近的黑洞做“人口普查”。但是，有一批美国科学家却提出全新的看法，认为所谓的黑洞根本是子虚乌有。

检测篇

一、检测题

1. 有关开普勒定律的下列说法中，正确的是（　　）
 A. 行星绕太阳做椭圆轨道运动
 B. 太阳系所有行星与太阳的连线在相等时间内扫过的面积相同
 C. 火星和地球绕太阳周期的平方除以到太阳平均距离的三次方得到的值相等
 D. 任意位置地球绕太阳的速度大小相等
2. 某星球绕太阳公转，其平均轨道半径为地球平均轨道半径的 9 倍，已知地球公转周期为 1 年，则该星球的公转周期为（　　）
 A. 3 年　　B. 1 年　　C. 27 年　　D. 81 年
3. 把太阳系各行星的运动看做近似匀速圆周运动，则离太阳越远的行星（　　）
 A. 周期越小　　B. 线速度越小　　C. 角速度越小　　D. 加速度越小
4. 有质量相等的两个人造地球卫星 A 和 B，分别在不同的轨道上绕地球做匀速圆周运动。两卫星的轨道半径分别为 r_A 和 r_B，且 $r_A>r_B$。则 A 和 B 两卫星相比较，以下说法正确的是（　　）
 A. 卫星 A 的运行周期较大　　B. 卫星 A 受到的地球引力较大
 C. 卫星 A 的动能较大　　D. 卫星 A 的机械能较大
5. 如下图所示，a、b、c 是在地球大气层外圆形轨道上运行的三颗人造卫星。下列说法中正确的是（　　）



A．b、c 的线速度大小相等，且大于 a 的线速度

B．b、c 的向心加速度大小相等，且小于 a 的向心加速度

C．b、c 运行周期相同，且小于 a 的运行周期

D．由于某种原因，a 的轨道半径缓慢减小，a 的线速度将变大

6．1998 年 8 月 20 日，中国太原卫星发射中心为美国“铱”星公司成功发射了两颗“铱”星系统的补网星。1998 年 9 月 23 日，“铱”卫星通信系统正式投入商业运行，标志着一场通信技术革命开始了。原计划的“铱”卫星通信系统是在距地球表面 780 km 的太空轨道上建立一个由 77 颗小卫星组成的星座。这些小卫星均匀分布在覆盖全球的 7 条轨道上，每条轨道上有 11 颗卫星，由于这一方案的卫星排布像化学元素“铱”原子的核外 77 个电子围绕原子核运动一样，所以称为“铱”星系统。后来改为由 66 颗卫星，分布在 6 条轨道上，每条轨道上 11 颗卫星组成，仍称它为“铱”星系统。“铱”星系统的 66 颗卫星，其运行轨道的共同特点是（　　）

A．以地轴为中心的圆形轨道　　B．以地心为中心的圆形轨道

C．轨道平面必须处于赤道平面内　　D．铱星运行轨道远低于同步卫星轨道

7．两个行星各有一个卫星绕其表面运行，已知两个卫星的周期之比为 1∶2，两行星半径之比为 2∶1。下列说法中正确的是（　　）

① 两行星密度之比为 4∶1　② 两行星质量之比为 16∶1　③ 两行星表面处重力加速度之比为 8∶1　④ 两卫星的速率之比为 4∶1

A．①②　　B．①②③　　C．②③④　　D．①③④

8．某人造卫星绕地球做匀速圆周运动，设地球半径为 R，地面重力加速度为 g，下列说法错误的是（　　）

A．人造卫星的最小周期为 $2\pi\sqrt{\dfrac{R}{g}}$

B．卫星在距地面高度 R 处的绕行速度为 $\sqrt{\dfrac{Rg}{2}}$

C．卫星在距地面高度为 R 处的重力加速度为 $\dfrac{g}{4}$

D．地球同步卫星的速率比近地卫星速率小，所以发射同步卫星所需的能量较少

9．某同学通过直播得知“神舟”六号在圆轨道上运转一圈的时间小于 24 小时，由此他将其与同步卫星进行比较而得出以下结论，其中正确的是（　　）

A．“神舟”六号运行的向心加速度小于同步卫星的向心加速度

B．“神舟”六号在圆轨道上的运行速率小于同步卫星的速率

C．“神舟”六号在圆轨道上的运行角速度小于同步卫星的角速度

D．“神舟”六号运行时离地面的高度小于同步卫星的高度

10．已知地球半径为 R，月球半径为 r，地球与月球之间的距离（两球中心之间的距离）为 L。月球绕地球公转的周期为 T_1，地球自转的周期为 T_2，地球绕太阳公转周期为 T_3，假设公转运动都视为圆周运动，万有引力常量为 G，由以上条件可知（　　）

A．地球的质量为 $m_{地}=\dfrac{4\pi^2L}{GT_3^2}$　　B．月球的质量为 $m_{月}=\dfrac{4\pi^2L}{GT_1^2}$

C．地球的密度为 $\rho=\dfrac{3\pi L}{GT_1^2}$　　D．月球运动的加速度为 $a=\dfrac{4\pi^2L}{T_1^2}$

11．（14 分）宇航员在月球上做自由落体实验。将某物体由距月球表面高 h 处由静止释放，经时间 t 后落到月球表面。已知月球半径为 r。根据以上信息可以推断：

（1）月球表面重力加速度是多少？

（2）在月球表面发射卫星的第一宇宙速度是多少？

12．（16 分）2007 年 10 月 24 日，我国“嫦娥一号”探月卫星成功发射。“嫦娥一号”卫星开始绕地球做椭圆轨道运动，经过变轨、制动后，成为一颗绕月球做圆轨道运动的卫星。设卫星距月球表面的高度为 h，做匀速圆周运动的周期为 T。已知月球半径为 R，引力常量为 G。求：

（1）月球的质量 M；

（2）月球表面的重力加速度 g；

（3）卫星绕月球运行的速度 v；

（4）月球的密度 ρ。

13．（14 分）天文学家将相距较近、仅在彼此的引力作用下运行的两颗恒星称为双星。双星系统在银河系中很普遍。利用双星系统中两颗恒星的运动特征可推算出它们的总质量。已知某双星系统中两颗恒星围绕它们连线上的某一固定点分别做匀速圆周运动，周期均为 T，两颗恒星之间的距离为 r，试推算这个双星系统的总质量。（引力常量为 G）

14．（16 分）侦察卫星在通过地球两极上空的圆轨道上运动，它的运动轨道距地面高度为 h，要使卫星在一天的时间内将地面上赤道各处在日照条件下的情况全都拍摄下来，卫星在通过赤道上空时，卫星上的摄像机至少应拍摄地面上赤道圆周的弧长是多少？设地球的半径为 R，地面处的重力加速度为 g，地球自转的周期为 T。

二、检测题答案

1．AC　　2．C　　3．BCD　　4．AD　　5．BD　　6．BD

7．D　　8．D　　9．D　　10．D

11．（1）$\frac{2h}{t^2}$　（2）$\frac{\sqrt{2hR}}{t}$

12．（1）$M=\frac{4\pi^2(R+h)^3}{GT^2}$　（2）$g=\frac{4\pi^2(R+h)^3}{T^2R^2}$　（3）$v=\frac{2\pi(R+h)}{T}$　（4）$\rho=\frac{3\pi(R+h)^3}{GT^2R^3}$

13．$m_1+m_2=\frac{4\pi^2}{T^2G}r^3$　　14．$s=\frac{4\pi^2}{T}\sqrt{\frac{(h+R)^3}{g}}$

我的收藏夹

Chapter 7

第七章　功　和　能

学习指导语

力和运动状态变化的关系是高中物理学习的核心内容。前面我们的学习以牛顿定律为核心，从力产生加速度进而改变物体的运动状态的角度来研究力和运动的关系。从这一章开始，我们将换一个角度，从能量的角度来研究力和运动状态变化的关系。学完本章，你将知道力在空间上的积累会产生什么效果。认识功和能之间的关系，掌握能量转化与守恒思想，你将用一种崭新的眼光来看世界。

本章将出现高中物理力学的另外两个核心规律：动能定理和机械能守恒定律。分析问题仍然要从分析力学问题的基本点入手——受力分析出发，学会过程分析和状态分析，找到过程量与状态变化量之间的对应关系，要学会功和能量变化的分析。

对于本章涉及的多过程、多状态的复杂问题，学会将复杂问题拆分成几个简单的物理模型，使复杂问题简单化，使简单问题熟练化，就可以顺利解决了。高楼万丈凭地基，让我们从本章的基本概念和基本操作入手，扎扎实实学好本章知识。

第一节　功

体验篇

小芳拿出 2 张照片（图 7-1-1 和图 7-1-2）。



图7-1-1　跳高运动员越过横杆

http://sports.sohu.com/20040823/n221672856.shtml



图7-1-1　举重运动员举起杠铃

http://www.ynxxb.com/content/2008-8/14/57336.aspx

小芳：“大家看，我发现一件有趣的事情，跳高运动员的身材高而修长，举重运动员的身材矮而粗壮。”

艾爷爷：“你观察得很仔细，这是为什么呢？”

阿牛：“跳高和举重过程中，都需要克服重力做功。跳得越高或举得越高，需要克服重力做的功越多。”

小芳：“哦，我明白了。运动员的身材会使他们具有先天的优势，在进行相应的运动时，就会消耗更 少的能量了。”

艾爷爷：“你们说的都很好！从某种意义上说，能量的转化和传递主导着整个世界。自然界中有多种作用形式的力，通过各种力做功，各种能量得以相互转化。之前我们都是从牛顿定律的角度出发来解决力和运动的问题，如果从做功的角度去重新研究一个相同的问题，可能会更简单，更直接。下面就让我们一起来研究关于做功的问题吧。”

学习篇

一、功的概念

小芳：“初中我们都学过功了，功＝力 × 力的方向上的距离。高中学的‘功’和初中有什么区别呢？”

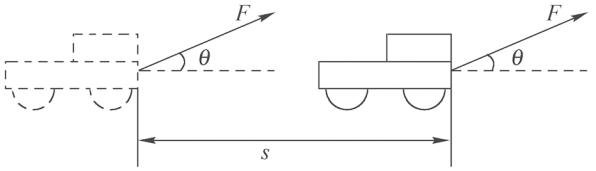


艾爷爷：“那我考考你，假定图 7-1-3（a）中，大力士拉卡车的力是恒力 F，卡车前进的距离为 s，大力士做的功怎么求？”

小芳：“大力士拉车可以简化为图 7-1-3（b），$W=Fs$。但是力和距离有个角度，这怎么处理？”



（a）



（b）

图7-1-3

艾爷爷：“高中我们能解决力与位移成角度时的做功问题，功＝力 × 位移在力的方向上的投影。”$W=Fs\cos\theta$，θ 为 F 和 s 的夹角。国际单位：焦耳（J），1J=1N·m。

功是标量，没有方向，只有大小，但有正负。

标签1

$\theta\in[0,90^\circ)$，$W>0$；$\theta=90^\circ$，$W=0$；$\theta\in(90^\circ,180^\circ]$，$W<0$。叠加时求代数和。

小芳：“初中公式 $W=Fs$ 研究的是力和位移共线的情况，实际是 $W=Fs\cos\theta$ 在 $\theta=0$ 时的特例。”

艾爷爷：“没错！不过注意这个公式中的力 F 必须为恒力，如果是变力，就不能用这个公式了。图 7-1-3 中，大力士拉卡车的力再大，如果车没有动，大力士做的功总是 0，这叫劳而无功。可见只有力和力方向上发生位移时力才做功，功表示力在空间上的累积效果。”

二、功的理解



功＝力 × 力的方向上的位移，我们不妨利用等效代换的思想，把力沿着位移的方向和垂直于位移的方向分解；或者把位移沿着力的方向和垂直于力的方向分解。分解的结果如图 7-1-4 所示。求功都满足 $W=Fs\cos\theta$。

标签2

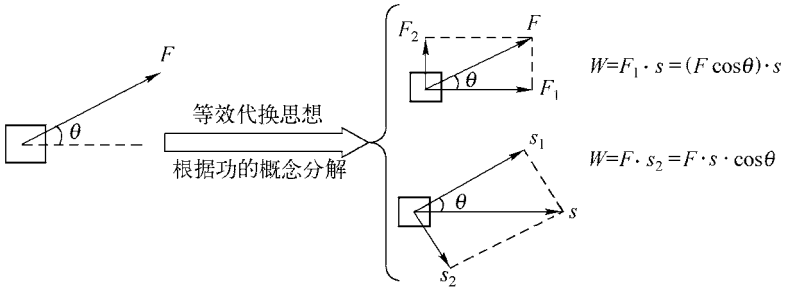


图7-1-4

艾爷爷：“从图 7-1-5 来理解，我标出的阴影是面积，含义为 $W=F\cos\theta$，求功的时候，分解力或分解位移求功是等效的，2 个图像的面积也相同。”

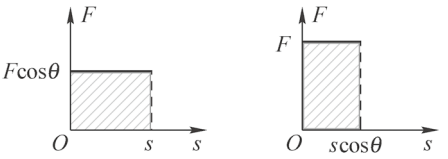


图7-1-5

标签3

受力分析是解决力学问题的前提，做功分析是分析物体运动状态变化原因的必要工作之一。做功分析的操作过程如下：

（1）受力分析：画出力的大小和方向。

（2）空间分析：标出物体的位移的大小和方向。

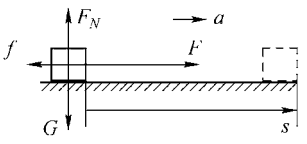
（3）标出力和位移的夹角，确定功的正负。

【例题 1】

一质量为 2kg 的箱子静止放在粗糙的水平地面上，箱子和地面之间的动摩擦因数 $\mu=0.2$，现用一大小为 10N 的水平外力拉箱子，分析：

（1）在 1s 的时间内各个力的做功情况？

（2）比较各个力做功的代数和与合外力的功的大小关系

思维操作	解答过程
研究对象	箱子
情境图	 会画图
物理模型	匀加速直线运动
适用规律	（1）牛顿第二定律 （2）运动学公式 （3）滑动摩擦力的计算公式 （4）功的计算公式
特定条件	初态为静止状态
决策	（1）受力分析，运用牛顿第二定律求解加速度 （2）运用运动学的规律求解位移 （3）运用功的计算公式计算功，明确功的三个要素力、位移、力与位移之间的夹角
运算过程	由牛顿第二定律得 $F-f=ma$ $F-\mu mg=ma$ 由位移公式得 $s=\frac{1}{2}at^2$ 由功的计算式得 重力的功为 $W_G=G s\cos 90°$ 支持力的功为 $W_N=N s\cos 90°$ 水平外力的功为 $W_F=F s\cos 0°$ 摩擦力的功为 $W_f=\mu mgs\cos 180°=-\mu mgs$

续表

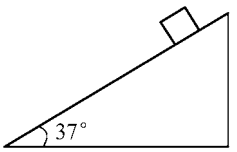
运算过程	则各个力做功的代数和为 $W_{总}=W_G+W_N+W_F+W_f$ 合外力为 $F_{合}=ma$ 所以，$W_{合}=F_{合}s$ 上式相应联立解得 $W_G=0$；$W_N=0$；$W_F=Fs\cos 0^\circ=15\text{J}$；$W_f=-6\text{J}$；$W_{合}=9\text{J}$ $W_{合}=9\text{J}$
分析结果	（1）当力的方向与位移的方向的夹角 $0^\circ \leqslant \theta < 90^\circ$ 时，该力做正功，该力为动力；当力的方向与位移的方向的夹角为 90° 时，该力不做功；当力的方向与位移的方向的夹角 $90^\circ < \theta \leqslant 180^\circ$ 时，该力做负功，该力为阻力 （2）外力做功的代数和等于合外力的功
会操作	记住解题的这八个规范操作步骤！确信你能独立重复！

【反馈 1】

一质量为 1kg 的物块沿倾角为 37° 的足够长的固定斜面由静止开始下滑，物体与斜面之间的动摩擦因数为 0.5。分析：

（1）从零时刻开始，在 1s 的时间内各个力的做功情况。

（2）比较各个力做功的代数和与合外力的功的大小关系



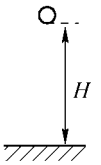
思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	
决策	

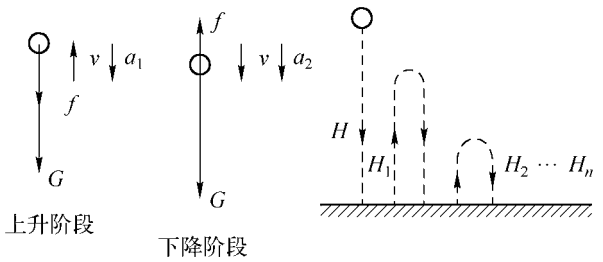
续表

运算过程	
分析结果	

【例题 2】

一个质量为 m 的弹性小球从距离地面高为 H 的地方落下，小球受到的空气阻力的大小恒为 f，小球与地面的碰撞没有能量损失，小球最终走过的路程为 s，求整个过程中重力做的功和空气阻力做的功各为多大？



思维操作	解答过程
研究对象	小球
情境图	
物理模型	匀变速直线运动
适用规律	（1）牛顿第二定律 （2）运动学规律 （3）功的计算公式
特定条件	不计与地面间的碰撞能量损失、初始高度、走过的路程
决策	（1）受力分析 （2）抽象出正确的运动模型 （3）空间分析 （4）运用功的计算式求解

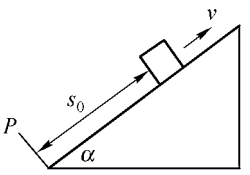
续表

运算过程	在第一个下落阶段： 重力的功 $W_{G1}=mgH$　　阻力的功 $W_{f1}=-fH$ 与地面碰撞后，对于第一个往返过程： 在上升阶段，重力的功 $W_{G2}=-mgH_1$，阻力的功 $W_{f2}=-fH_1$ 在下降阶段，重力的功 $W_{G3}=+mgH_1$，阻力的功 $W_{f3}=-fH_1$ 与地面碰撞后，对于第二个往返过程： 在上升阶段，重力的功 $W_{G4}=-mgH_2$，阻力的功 $W_{f4}=-fH_2$ 在下降阶段，重力的功 $W_{G5}=+mgH_2$，阻力的功 $W_{f5}=-fH_2$ …… 对于第 n 个往返过程： 在上升阶段，重力的功 $W_{G2n}=-mgH_n$，阻力的功 $W_{f2n}=-fH_n$ 在下降阶段：重力的功 $W_{G(2n+1)}=+mgH_n$，阻力的功 $W_{f(2n+1)}=-fH_n$ 对以上结果进行归纳，对整个过程，除了第一个下落阶段外，在以后的上升阶段和下落阶段中，重力功互相抵消；而阻力一直做负功 所以，$W_G=mgH$ $W_f=-f(H+2H_1+2H_2+\cdots+2H_n)=-fs$
分析结果	（1）功的计算式 $W=Fs\cos\theta$ 只能求解恒力做功的情况 （2）在整个过程中，重力为恒力，阻力的方向在变化。但如果我们辩证地来看问题，将整个过程拆分为若干个上升过程和下降过程，那么阻力在这些单个的过程中又为恒力了。 （3）在高中物理中，力又可以分为非耗散力和耗散力，典型的非耗散力如重力。典型的耗散力如空气阻力和滑动摩擦力。 对于非耗散力，$W=Fs\cos\theta$（功的计算式可以对整个过程运用） 对于耗散力，$W=-Fs$（s 为路程）（化变力为恒力，对每一过程运用功的计算式而后叠加的结果）
会操作	记住解题的这八个规范操作步骤！确信你能独立重复！

标签4

【反馈 2】

如右图所示，斜面足够长，其倾角为 α，质量为 m 的滑块，距挡板 P 为 s_0，以某一初速度沿斜面上滑，滑块与斜面间的动摩擦因数为 μ，滑块所受摩擦力小于滑块沿斜面方向的重力分力，若滑块每次与挡板相碰均无能量损失，滑块最终停在了斜面底端，滑块走过的路程为 s，分析在该过程中，重力的功以及滑动摩擦力的功各为多大？



思维操作	解答过程
研究对象	

续表

情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	
决策	
运算过程	
分析结果	

我的训练营

1. 以初速度 v_0 竖直向上抛出一个质量为 m 的小球，上升最大高度是 h。如果空气阻力大小恒定且为 f，则从抛出到落回出发点的整个过程中，空气阻力对小球做的功为（　　）

A. 0　　B. $-fh$　　C. $-2mgh$　　D. $-2fh$

2. 关于摩擦力做功，下列说法中不正确的是（　　）

A. 滑动摩擦力阻碍物体相对运动，一定做负功

B. 静摩擦力起着阻碍物体相对运动趋势的作用，一定不做功

C. 静摩擦力和滑动摩擦力一定都做负功

D. 系统内两物体间相互作用的一对摩擦力做功的总和恒等于零

3. 小物块位于光滑的斜面上，斜面位于光滑的水平面上，如图 7-1-6 所示，从地面上看，在物块沿斜面下滑的过程中，斜面对物块的作用力（　　）

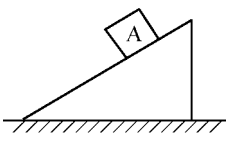


图7-1-6

A. 垂直于接触面，做的功为零

B. 垂直于接触面，做的功不为零

C. 不垂直于接触面，做的功为零

D. 不垂直于接触面，做的功不为零

4. 如图 7-1-7 所示，物体以一定的初速度沿水平面由 A 点滑到 B 点，摩擦力做的功为 W_1，若该物体从 A' 沿两斜面滑到 B'。摩擦力做的功为 W_2，已知物体与各接触面的动摩擦系数均相同，则（　　）

A. $W_1 = W_2$　　B. $W_1 > W_2$

C. $W_1 < W_2$　　D. 不能确定

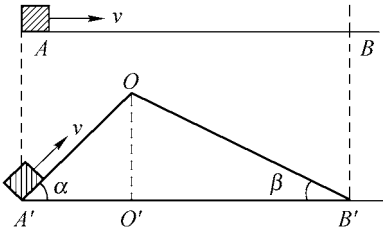


图7-1-7

5. 如图 7-1-8 所示，P、Q 是竖直固定在水平桌面上的档板，质量为 m 的小物块 N 在靠近 P 板处以一定初速度向 Q 板运动，已知物块与桌面的动摩擦因数为 μ，P 板与 Q 板相距为 s，物块通过与 Q 板碰撞 n 次以后，最后静止于 P 板与 Q 板的正中间，问整个过程摩擦力做的功为多少？（n 为自然数）

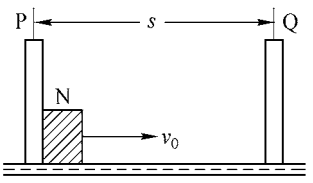


图7-1-8

我的整理箱

知识的梳理

★

★

方法的形成

★

★

★

结构图

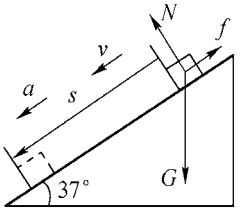
知识体系	思维操作
本节的知识结构图	

知识体系	思维操作
求功的操作流程图	

指导篇

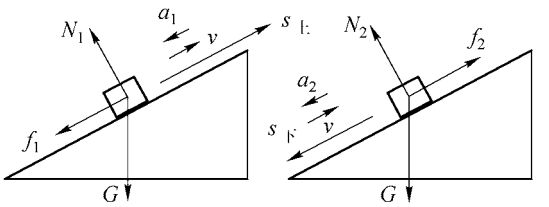
一、参考答案

反馈题答案

【反馈 1】	
思维操作	解答过程
研究对象	物块
情境图	
物理模型	匀加速直线运动
适用规律	（1）牛顿第二定律 （2）运动学规律 （3）功的表达式
特定条件	初态为静止状态、倾角、时间
决策	（1）受力分析、运用牛顿第二定律求出物块下滑加速度 （2）利用运动学规律求出物体位移 （3）运用功的计算式求出功的大小
运算过程	沿斜面方向 $mg\sin37°-f=ma$ $mg\sin37°-\mu mg\cos37°=ma$ $a=2\text{m/s}^2$ 利用位移公式得 $s=\frac{1}{2}at^2=1\text{m}$ 运用功的计算式 $W_G=mgs\sin37°$ $W_N=Ns\cos90°$

续表

运算过程	$W_f=fs\cos180°$ 所以，$W_{总}=W_G+W_N+W_f$ $W_{合}=F_{合}s=mas$ 解得 $W_G=6\text{J}$　$W_N=0$　$W_f=-4\text{J}$ $W_{总}=2\text{J}$　$W_{合}=2\text{J}$
分析结果	（1）注意力在什么情况下做正功，在什么情况下不做功，在什么情况下做负功 （2）外力做功的代数和等于合外力的功

【反馈 2】	
思维操作	解答过程
研究对象	滑块
情境图	 上滑时的受力及位移情况　　下滑时的受力及位移情况 会画图
物理模型	匀变速直线运动
适用规律	（1）牛顿第二定律 （2）运动学规律 （3）功的表达式
特定条件	重力沿斜面的分力大于摩擦力、与挡板的碰撞没有能量损失
决策	（1）确定物体的初状态和末状态以及中间过程的运动模型 （2）根据受力分析和空间分析，运用功的计算式进行计算
运算过程	由受力分析，并通过正交分解的方法可得 $f=\mu N=\mu mg\cos\alpha$ 由于重力为恒力，代入功的计算式得 $W_G=mgs_0\sin\alpha$ 由于滑动摩擦力在上滑和下滑过程都做负功，所以有 $W_f=-(\mu mg\cos\alpha)s=-\mu mgs\cos\alpha$
分析结果	进一步体会重力和摩擦力做功的特点

训练营答案

1. D　　2. ABCD　　3. B　　4. A

5.（提示）。

N 物块在桌面上 PQ 间往返滑动的过程中，滑动摩擦力一直做负功，当物块自身动能消耗尽时静止。据题意，静止于 PQ 中点处，虽然与 Q 板相碰 n 次，但有两种可能：一是从 P 到 Q，折返再碰，与 Q 碰第 n 次返回到中点；二是从 P 到 Q，折返再碰，与 Q 碰第 n 次返回到 P 再折回中点。两种情况做功不同。

$W=-\mu mgs\left(2n+\frac{1}{2}\right)$ 或 $W=-\mu mgs\left(2n-\frac{1}{2}\right)$

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 功的定义的表达 标签1

★ 功的计算式及其适用范围 标签1

方法的形成

★ 等效代换的思想 标签2

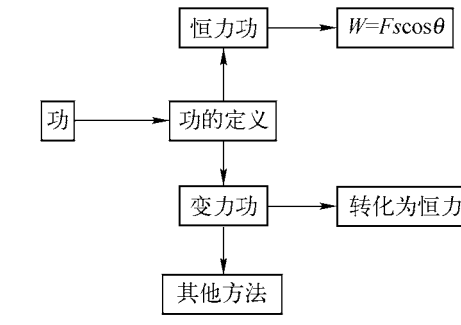
★ 转化的方法（化变力为恒力） 标签4

★ 归纳的方法 标签4

结构图

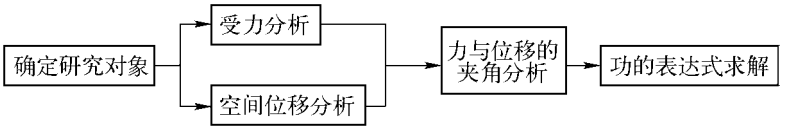
知识体系 **思维操作**

本节的知识结构图 标签1



标签2 标签4

求功的操作流程图 标签3



三、点拨与提高

功的计算式 $W=Fs\cos\theta$，F 必须为恒力，s 为力的作用点的位移，θ 为力 F 和位移 s 之间的夹角。虽然本节介绍的功的计算式只适用于恒力功的求法，但在很多情况下可以将变力做功转化为恒力做功。常见的方法有三种：

（1）**如果力是均匀变化的，可以用求平均力的方法将变力转化为平均力。**

如图 7-1-9 所示 F–s 图像，我们利用积分很容易证明，图线与横轴（位移轴）所围成的面积便为力 F 在发生位移 s_0 过程中所做的功。

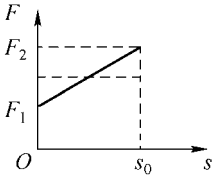


图7-1-9

所以有 $W=\frac{F_1+F_2}{2}s_0$，将 $\frac{F_1+F_2}{2}$ 看成均匀变化的力的平均值。

（2）滑动摩擦力或者空气阻力在曲线运动或往返过程中做的功为负，大小等于该力与路程的乘积。

如图 7-1-10 所示，一个物块在一水平粗糙平面上沿半径为 R 的圆形轨道运动了一周，求在这一过程中滑动摩擦力做的功。

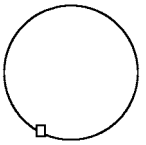


图7-1-10

分析：很明显不能套用功的计算式，因为在这一过程中滑动摩擦力的方向不断发生改变，它不是一个恒力。但利用无限分割的思想，如果我们将其运动轨迹分为许多小段 $s_1s_2\cdots s_n$，那么物体在每一小段的运动可近似看成是直线运动，因而滑动摩擦力是恒力。所以物体克服滑动摩擦力做的功为

$$W=fs_1+fs_2+\cdots+fs_n=f(s_1+s_2+\cdots+s_n)=2\pi Rf$$

（3）通过位移的关联关系将变力做功转化为恒力做功。

如图 7-1-11 所示，用力恒力 F 通过光滑的定滑轮把静止在水平面上的物体从位置 A 拉到位置 B，物体在水平位置 A、B 时细绳与水平方向的夹角分别为 θ_1 和 θ_2，求绳的拉力对物体做的功。

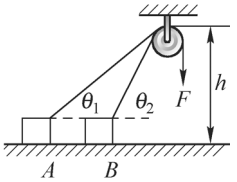


图7-1-11

分析：人拉绳的力是恒力，但绳拉物体的力不是恒力，所以无法直接用功的计算式来解决，但考虑到绳的拉力对物体做的功等于力 F 对绳做的功，力 F 的位移与物体的位移相关联，即 $s=\frac{h}{\sin\theta_1}-\frac{h}{\sin\theta_2}$，所以绳的拉力对物体做的功为 $W=Fs=F\left(\frac{h}{\sin\theta_1}-\frac{h}{\sin\theta_2}\right)$。

第二节 功 率

体验篇

艾爷爷：“说说从这几张图（图 7-2-1、图 7-2-2 和图 7-2-3）中你可以获得哪些信息？”



图7-2-1 一般火车的额定功率为2400 ~ 3000kW

http://epaper.xplus.com/papers/zjkrb/20080412/n8.shtml



图7-2-2 F1赛车的额定功率约570kW

http://www.cj888.com/star/Htm/2006-12-29/XZ_37806_1.h



图7-2-3 普通轿车的额定功率约70kW

http://auto.tom.com/2007-06-25/0DB4/82546770.html

阿牛：“火车、赛车、汽车额定功率不同。火车额定功率最大，能拖着这么多车厢跑，劲最大。”

艾爷爷：“图 7-2-4 和图 7-2-5 说明了什么问题？”



图7-2-4 额定功率为100W的灯泡的发光情况

http://bbs.szhome.com/commentdetail.aspx?id=3119599



图7-2-5 额定功率为25W的灯泡的发光情况

http://www.imagewa.com/Photo/428/36855.html

小芳：“额定功率为 100W 的灯泡比额定功率为 25W 的灯泡更亮，功率越大的灯泡越亮。”

艾爷爷：“功率问题和我们的生活息息相关，下面让我们来探讨功率吧。”

学习篇

一、功率的概念

功率表示做功的快慢，数值等于物体在单位时间内做的功。

$P=\dfrac{W}{t}$，国际单位为瓦特（W），$1\text{W}=1\dfrac{\text{J}}{\text{s}}$，功率是标量。

这个公式求的是单位时间内物体做的功，求的是 t 时间内的平均功率。

阿牛：“如果要求某一时刻的功率，比如汽车在某个时刻发动机的瞬时功率，怎么求？”

艾爷爷：“把上一节功的公式代入，$P=\frac{W}{t}=\frac{Fs\cos\theta}{t}=F\bar{v}\cos\theta$，和我们推导瞬时速度的过程类似，当所研究的时间极短，即 $\Delta t\to 0$，速度 $\bar{v}$ 等于瞬时速度 v_t，$P_t=Fv_t\cos\theta$。功、平均功率、瞬时功率的概念你们清楚了吗？我们整理一下，见表 7-2-1。”

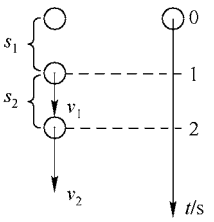
表7-2-1　对比功、功率

	功	功率
概念	功＝力 × 力方向上的位移 或功＝位移方向上的力 × 位移	单位时间内物体做的功
公式	$W=Fs\cos\theta$ （适用条件：F 是恒力） $\theta\in[0,90°)$，$W>0$； $\theta=90°$，$W=0$ $\theta\in(90°,180°]$，$W<0$	$P=\frac{W}{t}$（定义式，求平均功率） $P=F\bar{v}\cos\theta$（适用条件：恒力，求平均功率） $P_t=Fv_t\cos\theta$（适用条件：求瞬时功率） $\theta\in[0,90°)$，$P>0$； $\theta=90°$，$P=0$ $\theta\in(90°,180°]$，$P<0$
意义	力在空间上的累积效果	物体做功的快慢
标、矢量	标量，满足代数加减	标量，满足代数加减

标签1　标签2

【例题 1】

一个质量为 1 kg 的小球，从零时刻开始做自由落体运动，求（ 1 ）在第一秒内和第二秒内重力的功率为多大？（ 2 ）在第一秒末和第二秒末重力的功率为多大？ $(g=10\text{m/s}^2)$

思维操作	解答过程
研究对象	小球
情境图	 会画图
物理模型	自由落体运动
适用规律	（1）运动学规律　$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$，　$v_t=v_0+at$ （2）平均功率 $P=\frac{W}{t}$　瞬时功率 $P=Fv\cos\theta$
特定条件	第一秒内、第一秒末；第二秒内、第二秒末
决策	确定待求的是平均功率还是瞬时功率 （1）如是求平均功率，则：①确定待求的过程；②确定在该过程中力做的功及其相应的时间；③利用平均功率的数学表达式求解 （2）如是求瞬时功率，则：①确定待求的状态；②确定物体在该状态下的受力情况及其瞬时速度；③利用瞬时功率的数学表达式求解

续表

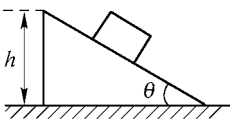
运算过程	（1）在第一秒内，小球的位移 $s_1=\frac{1}{2}gt_1^2$ 重力的功 $W_1=mgs_1=50$ J 重力的功率 $P=\frac{W_1}{t_1}=50$ W 在第二秒内，小球的位移 $s_2=\frac{1}{2}gt_2^2-\frac{1}{2}gt_1^2$ 重力的功 $W_2=mgs_2$ 重力的功率 $P=\frac{W_2}{t}$ 联立解得 $P=150$W （2）在第一秒末，小球的速度 $v_1=gt_1$ 此时重力的功率 $P=mgv_1\cos0^\circ=-100$W 在第二秒末，小球的速度 $v_2=gt$ 此时重力的功率 $P=mgv_2\cos0^\circ=200$W
分析结果	（1）平均功率为一过程量，瞬时功率为一状态量 （2）平均功率反映了力在某段时间内的做功快慢，瞬时功率反映了力在某一时刻的做功快慢
会操作	记住解题的这八个规范操作步骤！ 确信你能独立重复！

【反馈 1】

如右图所示一物体质量为 m（可视为质点）自光滑固定的斜面顶端无初速度地下滑，已知斜面高为 h，倾角为 θ，求：

（1）物体滑到斜面底端的过程中重力的功率

（2）物体滑到斜面底端时重力的功率



思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	

续表

决策	
运算过程	
分析结果	

二、汽车的两种起动过程



艾爷爷：“汽车扩大了人可以驾驭的空间范围。你们知道汽车的动力是从哪来的吗？”

小芳：“发动机啊，汽车的心脏，可以提供牵引力。”

艾爷爷：“可是，在雪地上猛踩油门时，发动机转速再快，汽车也动不了，这是为什么？”

阿牛：“雪地太滑，摩擦力不够。”

艾爷爷：“摩擦力对于汽车前进是阻力还是动力？”

大家沉思不语。

艾爷爷：“分析一下汽车的动力是怎么产生的吧。”

如图 7-2-6 所示，普通汽车有四个轮子，如果后面的两个轮子的转动要靠发动机的驱动，我们就将它们叫做后驱动轮，前面的两个轮子，没有发动机驱动，我们将它们叫做前从动轮。汽车发动机工作时，如图 7-2-7 所示，通过其内部相互啮合的齿轮、皮带组成的传动系统，使车轮旋转起来。



图7-2-6　普通汽车

http://cheshi.carschina.com/sichuan-sichuancheshi-20080904-134301



图7-2-7　发动机

http://www.zqpj.com/weixiu/HTML/2405.shtml

汽车前进时，前后轮都是逆时针转动的，后轮转动是靠发动机的驱动，地面给后轮施加的摩擦力 f_2 阻碍其转动，所以后轮受到的摩擦力 f_2 向前；前轮的转动是靠地面施加给它的摩擦力 f_1，所以前轮受到的摩擦力 f_1 向后，如图 7-2-8 所示。f_2 的作用是牵引车向前运动，所以将其叫做牵引力 F。前轮受到的摩擦力 f_1 以及空气阻力等阻碍汽车运动的力叫做阻力 f。这样我们就抽象出了汽车的受力情况，如图 7-2-9 所示。雪地上，后轮提供的摩擦力 f_2 不足，车子就无法前进了。”

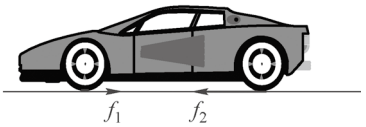


图7-2-8

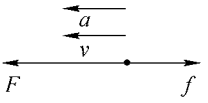


图7-2-9

阿牛：“原来汽车是这样动起来的。”

机灵鬼：“怪不得 F1 赛车要想方设法增大车轮的抓地性能，只有车轮与地面的摩擦增大，赛车才能获得更大的牵引力！”

小芳：“我们学习曲线运动时讨论汽车过拱桥最高点，说 N=0 时汽车就失控了，因为 N=0 时，摩擦力一定为 0，汽车的动力也就为 0 了。”

艾爷爷：“太好了，孩子们！很棒的联系！”

汽车实际运动的过程非常复杂，为了便于研究，我们把问题简化，只研究汽车在牵引力恒定或功率恒定的情况下，是如何起动的。推理过程如图 7-2-10 所示。

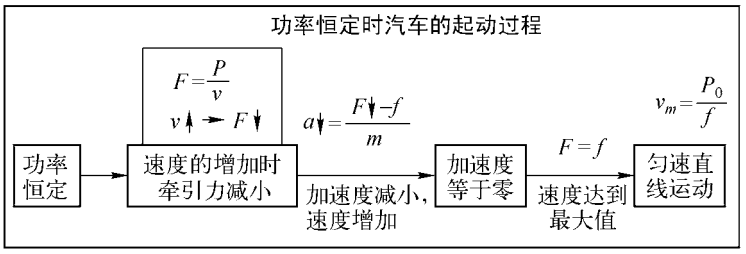


图7-2-10

速度 – 时间图像如图 7-2-11 所示。

会说话

用自己的语言来表达功率恒定时汽车的起动过程

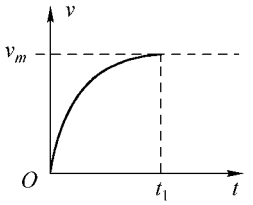


图7-2-11 功率恒定时，汽车的 v–t 图像

牵引力恒定时汽车的起动过程如图 7-2-12 所示

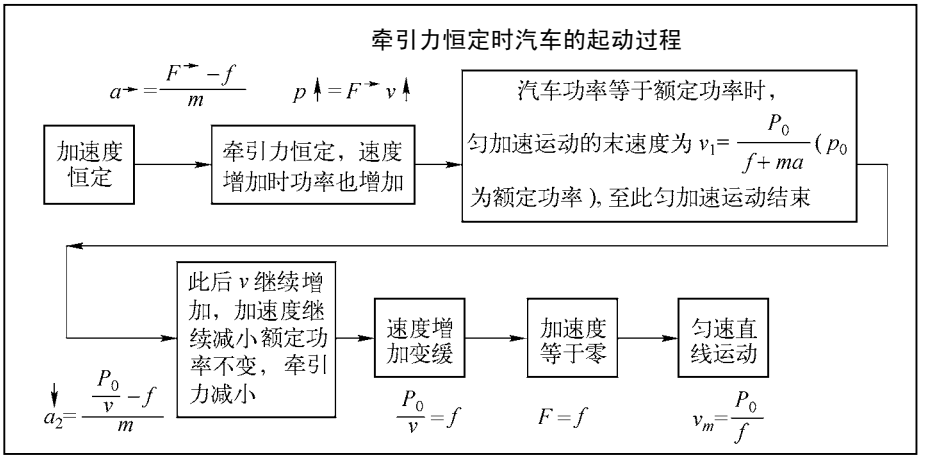


图7-2-12

速度 – 时间图像如图 7-2-13 所示。

会说话

用自己的语言来表达牵引力恒定时汽车的起动过程

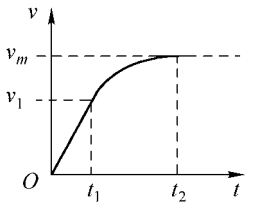


图7-2-13　牵引力恒定时，汽车的 v–t 图像

机灵鬼，请你来回答下面的问题吧。

在功率恒定的情况下，汽车的运动性质是 _____ ①。

在牵引力恒定的情况下，汽车的运动性质是 _____ ②。

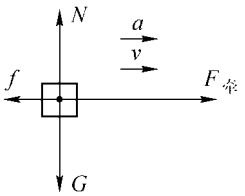
艾爷爷：“在分析过程中，要学会‘以静制动’，抓住不变的量，分析两个变量之间的关系。”

【例题 2】

汽车发动机的额定功率 60kW，汽车的质量 5t，汽车在水平路面上行驶时，阻力是车重的 0.1 倍。问：

（1）汽车保持以额定功率从静止起动后能达到的最大速度是多少？

（2）汽车从静止开始，保持以 0.5m/s^2 的加速度做匀加速运动，这一过程能维持多长时间？

思维操作	解答过程
研究对象	汽车
情境图	

续表

物理模型	机车起动模型
适用规律	（1）牛顿第二定律 （2）运动学规律
特定条件	汽车的功率、质量、阻力、加速度
决策	（1）受力分析和功率分析 （2）对力和运动进行正确的动态分析 （3）抽象出正确的模型
运算过程	（1）当汽车功率保持不变且阻力与牵引力相等时，汽车的速度最大 此时 $P_{额}=fv_m$，所以 $v_m=12\text{m/s}$ （2）当汽车以加速度 $a=0.5\text{m/s}^2$ 做匀加速直线运动时， 由牛二律得 $F_1-f=ma$，所以 $F_1=7500\text{N}$ 因为 $P=F_1v$，所以，当机车的功率达到额定功率时，匀加速过程结束 所以 $P_{额}=F_1v_t$，解得 $v_t=8\text{m/s}$ 由 $v_t=at$，解得 $t=16\text{s}$
分析结果	（1）对待物理模型的态度应是“活学活用”，切忌一成不变 （2）汽车在恒力起动过程中有两个“最大速度”，一个是匀加速运动过程中的最大速度，一个是最终的末速度。但真正意义上的最大速度应是最终的末速度
会操作	记住解题的这八个规范操作步骤！ 确信你能独立重复！

【反馈 2】

汽车发动机的额定功率为 60kW，汽车质量为 5 t，汽车在水平路面上行驶时，阻力是车重的 0．1 倍，g 取 10 m /s^2，在汽车恒定功率起动的过程中，问：

（1）当加速度大小为 1m/s^2 时，速度是多大？

（2）当速度大小为 4m/s 时，加速度是多大？

思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	

续表

决策	
运算过程	

我的训练营

1．如图 7-2-14 所示，质量为 m 的物体放在光滑水平面上，都是从静止开始，以相同的加速度移动同样的距离。第一次拉力 F_1 方向水平，第二次拉力 F_2 与水平成 α 角斜向上拉。在此过程中，两力的平均功率为 P_1 和 P_2，则（　　）

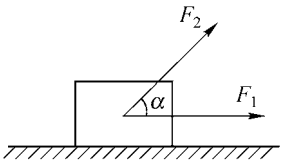


图7-2-14

A．$P_1>P_2$　　B．$P_1=P_2$　　C．$P_1<P_2$　　D．无法判断

2．飞机在飞行时受到的空气阻力与速率的平方成正比。若飞机以速率 v 匀速飞行时，发动机的功率为 P，则当飞机以速率 nv 匀速飞行时，发动机的功率为（　　）

A．nP　　B．$2nP$　　C．n^2P　　D．n^3P

3．质量为 m，以恒定功率 P 在水平公路上以 v_1 的速度匀速运动的汽车，当汽车速度大小为 v_2 时，$v_2<v_1$，汽车加速度大小等于 _____。

4．一辆汽车沿着略微倾斜的坡路运动，如果保持发动机的功率不变，它能以速度 v_1 匀速上坡，能以速度 v_2 匀速下坡，那么它在相同粗糙水平路面上匀速行驶的速度为多大？

5．汽车发动机的额定功率为 60kW，汽车的质量为 5t，汽车在水平路面上行驶时，阻力是车重的 0.1 倍，试问：

（1）汽车保持以额定功率从静止启动后，能达到的最大速度是多少？

（2）汽车从静止开始，保持以 0.5m/s^2 的加速度做匀加速起动，这一过程能维持多长时间？若汽车达到速度最大时行驶的距离为 324m，汽车的加速时间是多少？

我的整理箱

知识的梳理

★

★

方法的形成

★

★

结构图

知识体系	本节的知识结构图	思维操作

指导篇

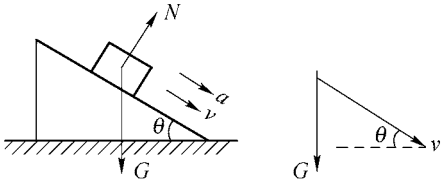
一、参考答案

行文补丁

① 加速度减小的加速运动

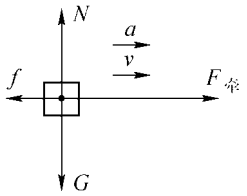
② 先做匀加速直线运动，后做加速度减小的直线运动

反馈题答案

【反馈 1】	
思维操作	解答过程
研究对象	物块
情境图	
物理模型	匀加速直线运动

续表

适用规律	（1）牛顿第二定律 $F=ma$ （2）运动学规律：$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$，$v_t^2-v_0^2=2as$ （3）平均功率表达式：$P=\frac{W}{t}$；瞬时功率表达式：$P=Fv$
特定条件	质量、倾角、斜面高度
决策	（1）受力分析、运用牛顿第二定律求出物块下滑加速度 （2）利用运动学规律求出下滑时间以及下滑到底端时的速度 （3）区分平均功率和瞬时功率，并用相应的表达式计算
运算过程	（1）沿斜面方向 $mg\sin\theta=ma$ $a=g\sin\theta$ 利用位移公式得 $\frac{h}{\sin\theta}=\frac{1}{2}at^2$，下滑时间 $t=\frac{1}{\sin\theta}\sqrt{\frac{2h}{g}}$ 运用功的计算式 $W_G=mgL\sin\theta=mgh$ 所以下滑过程的平均功率为 $P=\frac{W_G}{t}=mgh\sqrt{\frac{g}{2h}}\sin\theta$ （2）由运动学公式得 $v^2-0=2aL$，即 $v^2=2g\sin\theta\frac{h}{\sin\theta}=2gh$ 所以下滑到底端时的瞬时功率为 $P'=mgv\cos\left(\frac{\pi}{2}-\theta\right)$ 所以 $P'=mg\sqrt{2gh}\sin\theta$
分析结果	（1）注意力在什么情况下做正功，在什么情况下不做功，在什么情况下做负功 （2）外力做功的代数和等于合外力的功

【反馈 2】	
思维操作	解答过程
研究对象	汽车
情境图	
物理模型	加速度减小的加速运动
适用规律	（1）牛顿第二定律：$F=ma$ （2）瞬时功率数学表达式：$P=Fv$
特定条件	功率、质量、阻力，某时刻的速度和加速度

续表

决策	（1）受力分析和功率分析 （2）对力和运动进行正确的动态分析 （3）抽象出正确的模型
运算过程	（1）当加速度为 $1m/s^2$ 时，根据牛顿第二定律： $F_1-f=ma$ 得 $F_1=1.0\times10^4N$ 由于功率始终为额定功率，所以 $P_{额}=F_1v_1$ 代入数据得 $v_1=6m/s$ （2）当速度 $v_2=4m/s$ 时，由 $P_{额}=F_2v_2$ 得 $F_2=1.5\times10^4N$ 由牛顿第二定律得 $F_2-f=ma_2$ 所以 $a_2=2m/s^2$

训练营答案

1. B　　2. D　　3. $\frac{P}{m}\left(\frac{1}{v_2}-\frac{1}{v_1}\right)$

4. $\frac{2v_1v_2}{v_2+v_1}$　　5.（1）12m/s　（2）16s；41s

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 平均功率和瞬时功率的含义以及表达式　标签2

★ 机车起动的两种情况：恒功率起动和恒力起动　标签3

方法的形成

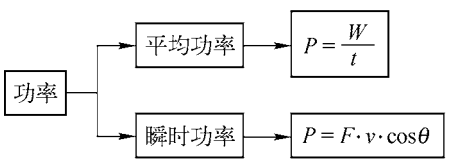
★ 类比方法　标签1

★ 逻辑推理的方法　标签3

结构图

知识体系　　思维操作

本节的知识结构图



标签2　标签2

第三节　势　　能

体验篇

艾爷爷：“看看这几张图片（图 7-3-1、图 7-3-2 和图 7-3-3），你们说说陨石、雪崩、水电站获得的能量和哪些因素有关？”



图7-3-1

美国内华达洲陨石坑，由一颗 30 ~ 50kg 的陨石撞击地面产生，爆炸力超过广岛原子弹 1000 倍
http://cul.shangdu.com/record/20080813-10564/



图7-3-2

秘鲁大雪崩，雪崩速度接近 90m/s，超过十二级台风（32.5m/s）
http://q.yesky.com/group/review-13897856.html



图7-3-3

三峡水电站，全球最大，一个月的发电量可超过百亿千瓦时，可供北京市用两个半月
http://www.powerconference.cn/home/space.php?uid=1&do=album&picid=31&goto=down

阿牛：“能量的大小跟物体的质量和高度有关。”

艾爷爷：“让我们一起研究一下这种能量。”

学习篇

一、 重力势能



物体由于受到重力和有高度而具有的能量叫**重力势能**，大小与物体受到的重力和物体的高度有关。 标签1

$E_p=mgh$，其中 h 是高度。

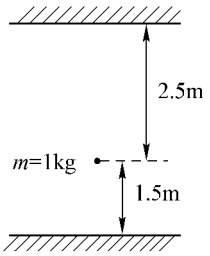
由于高度是一个相对的量，参考点不同，则高度不同。所以求物体的重力势能时，要先规定好零势能面。如无特殊说明，可以地面为零势能面。同时要注意，h 的大小为物体的重心到零势能面的高度，如例题 1 中情境图所示。

【例题 1】

一个质量为 1kg 的物体，位于离地面高 1.5m 处，比天花板低 2.5m。以地面为零势能位置时，物体的重力势能为多大？以天花板为零势能位置时，物体的重力势能为多大？（g 取 10m/s^2）

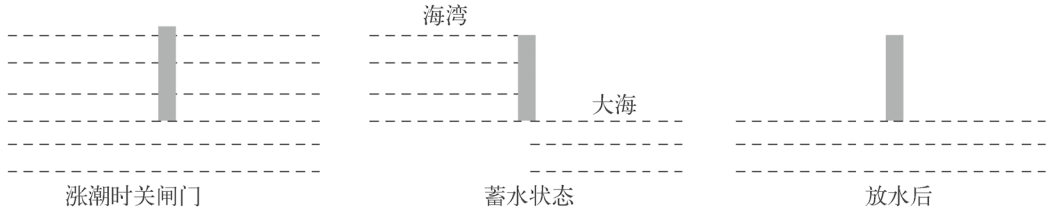
思维操作	解答过程
研究对象	物体

续表

情境图	 会画图
物理模型	将物体视为质点
适用规律	重力势能的数学表达式：$E_p=mgh$
特定条件	零势能面选取有两种要求
决策	确定好零势能面，利用重力势能的公式进行计算
运算过程	以地面为零势能面时， $E_{p1}=mgh_1=15\text{J}$ 以天花板为零势能面时， $E_{p2}=mgh_2=-25\text{J}$
分析结果	（1）重力势能是物体和地球共有的 （2）零势能面可以任意选取。零势能面不同，重力势能不同 （3）重力势能是标量，正负表示能量比零势能多出多少或少了多少
会操作	模仿一遍，理解一遍，确保熟练

【反馈 1】

某海湾共占面积 $1.0\times10^7\text{m}^2$，涨潮时水深 20m，此时关上水坝闸门，可使水位保持 20m 不变。退潮时，坝外水位降至 18m。假如利用此水坝建水力发电站，且重力势能转变为电能的效率是 10%，每天有两次涨潮，问该电站一天能发出多少电能？



思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	

续表

物理模型	
适用规律	
特定条件	
决策	
运算过程	
分析结果	

二、重力做功和重力势能变化的关系

艾爷爷随手举起一个小球，如图7-3-4所示。

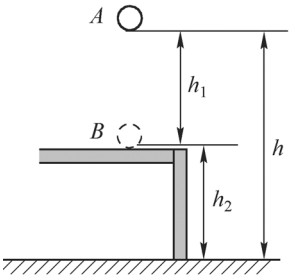


图7-3-4

艾爷爷：“请问：把一个质量为 m 的小球举高到 A 点，然后自静止释放，在其下落到桌面 B 点的过程中，重力做了多少功？重力势能变化了多少？”

阿牛：“简单啊，重力做功为 $W_G=mgh_1$。”

阿芳：“这个结果还可以表达为 $W_G=mg(h-h_2)=mgh-mgh_2$”

艾爷爷：“在这个过程中，重力势能的变化量是多少呢？”

小芳：“如果以地面为零势能面，下表可以清楚说明问题。”

	重力势能	重力势能的变化量（末状态－初状态）
初态	$E_{p0}=mgh$	$\Delta E_p=E_{pt}-E_{p0}=mgh_2-mgh$
末态	$E_{pt}=mgh_2$	

艾爷爷：“与重力做功对比一下，你们能发现什么吗？”

阿牛在小芳的表格后面加了一栏。

重力势能		重力势能的变化量	重力做的功
初态	$E_{p0}=mgh$	$\Delta E_p=E_{pt}-E_{p0}=mgh_2-mgh$	$W_G=mgh-mgh_2$
末态	$E_{pt}=mgh_2$		

阿牛：“比较表格的后两项，我发现重力做的功与重力势能的变化的量值相等，但互为相反数。”

会说话

重力做功和重力势能变化量的关系

小芳：“哦，原来有这样的规律：$W_G=-\Delta E_p$。这个结果对任意过程都成立吗？”

艾爷爷：“机灵鬼同学，你老半天没说话了，你按照阿牛和阿芳同学的思路分析一下，从 B 到 A 的过程中，重力做功为 _____ ①，重力势能的变化量是 _____ ②，结论是 _____ ③。对这两个重力做功过程进行总结，可以得出重力做功和重力势能变化量之间的规律是 _____ ④。”

标签2

艾爷爷：“刚才的规律虽然是通过两个特殊的过程得到的，但大量实践证明，这个规律对任意过

程都是成立的。”

三、重力做功的特点

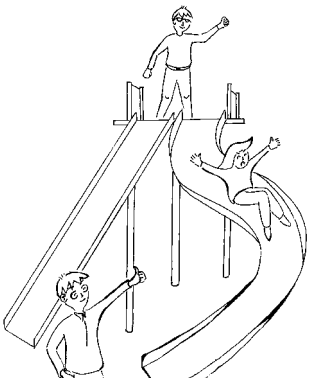


图7-3-5

艾爷爷：“幼儿园里的小朋友玩滑梯，他可以以不同的方式滑到地面，如图7-3-5所示。那么重力对小朋友做的功相同吗？

小芳：肯定不一样了，因为重力虽然相同，但位移以及重力和位移之间的夹角迥然不同。”

阿牛：“我不这么认为，不论小朋友怎么滑下来，滑下来的高度是一定的，让我们逐个研究一下吧。”

假设小孩的质量为 m，下滑高度为 h，在图 7-3-6（a）所示的情况下，重力的功很明显为 $W_G=mgh$；在图 7-3-6（b）所示的情况下，重力的功为 $W_G=mgAC\cos\theta=mgh$；在图 7-3-6（c）所示的情况下，把这个不规则的斜面分为无数小段，每一小段就可以被看成规则斜面了。假定每一小段的高度为 h_1，h_2，…，则每一小段重力的功对应为 mgh_1，mgh_2…，则整个过程的重力功 $W_G=mg(h_1+h_2+\cdots)=mgh$。

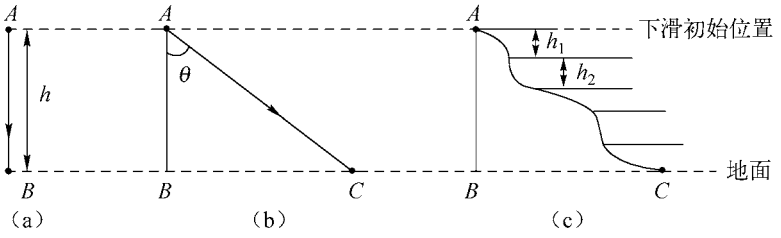


图7-3-6

标签3

会说话

重力做功的特点

艾爷爷：“分析得很精彩。通过阿牛同学的分析，我们能得到什么规律吗？机灵鬼同学，你来总结一下吧。”

机灵鬼：“重力做功与路径 _____ ⑤，只与 _____ ⑥有关，功的大小为重力与 _____ ⑦的乘积，数学表达为 $W_{AB}=$ _____ ⑧。”

【例题 2】

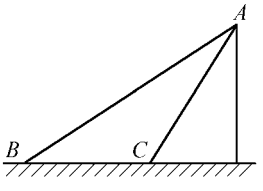
如右图所示，一物体从 A 点沿粗糙面 AB 与光滑面 AC 分别滑到同一水平面上的 B 点与 C 点，则下列说法中正确的是（　　）

A．沿 AB 面重力做功多

B．沿两个面重力做的功相同

C．沿 AB 面重力势能减少多

D．沿两个面减少的重力势能相同



思维操作	解答过程
依据	重力做功的特点与路径无关，只与初、末位置的高度差有关 重力做功和重力势能变化的关系是 $W_G=-\Delta E_p$

续表

条件和分析	A	B	C	D
	沿 AB 面和 AC 面下滑，高度的变化是一样的，因而重力做的功是相同的		沿 AB 面和 AC 面下滑，高度的变化是相同的，重力势能的变化是相同的	
结论	错误	正确	错误	正确
会说话	请将这个问题的每个选项以“依据、条件和分析、结论”的方式对你的老师、同学或自己说一遍			

【反馈 2】

关于重力势能与重力做功，下列说法中正确的是（　　）

A．物体克服重力做的功等于重力势能的增加

B．在同一高度，将物体以初速 v_0 向不同的方向抛出，从抛出到落地的过程中，重力做的功相等，物体所减少的重力势能一定相等

C．重力势能等于零的物体，不可能对别的物体做功

D．用手托住一个物体匀速上举时，克服重力的功大于物体所增加的重力势能

思维操作	解答过程			
依据	重力做功的特点以及重力做功和重力势能变化的关系			
条件和分析	A	B	C	D
结论				

四、弹性势能

大家的讨论意犹未尽。艾爷爷又拿出三幅图片：“找找这三幅图（图 7-3-7、图 7-3-8 和图 7-3-9）在能量转化上的共同点吧。”



图7-3-7　射箭

http://www.wuhunews.cn/ewspaper/djwb/html/2008-08/15/content_2998103.htm



图7-3-8　撑杆跳

http://sports.sina.com.cn/o/p/2009-10-22/22434653106.shtml



图7-3-9　小孩玩蹦床

http://springfree.iman.com.cn/pingbi2.asp?city=7

阿牛：“以上三种情况都是由于物体发生了弹性形变后而储存了一种能，之后又通过弹力做功将这种能转化成了其他能。”

由于物体发生弹性形变而产生的势能，我们将这种能叫做弹性势能。在高中阶段研究有关弹性势能的问题时，最常遇见的是弹簧的弹性势能问题。

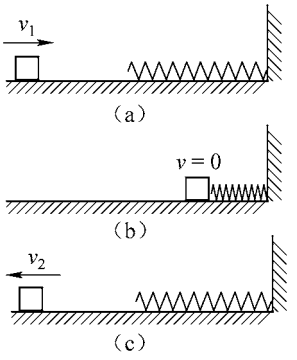


图7-3-10 标签4

如图 7-3-10 所示，一轻弹簧一端固定于墙上，一物块沿着光滑水平面向右运动，通过压缩弹簧，物块的速度减为零，之后物块又被弹簧弹开。在弹簧被压缩的过程中，弹簧弹力对物体做负功，弹性势能 E_p 增加，在恢复形变阶段，弹簧弹力对物体做正功，弹性势能 E_p 减少。弹簧弹力做功和弹性势能变化量之间的关系是 $W_{弹}=-\Delta E_p$。

小芳：“原来弹力做功和重力做功的特点是相同的，这样我们就可以用类比的思想来理解弹性势能的知识了。”

艾爷爷：“类比是科学研究的重要方法之一。两类不同事物之间某种关系上的相似叫类似，从两类不同事物之间找出某些相似的关系的思维方法，叫类比。当我们学习新知识的时候，借助类比，找到新学的知识与旧知识的相同点，以便我们加深对新知识的理解。这样做往往能将已学过的思路、方法迁移过来，提高学习效率。”

我的训练营

1. 关于重力势能，下列说法中正确的是（　　）
 A．重力势能的大小只由重物本身决定
 B．重力势能恒大于零
 C．在地面上的物体具有的重力势能一定等于零
 D．重力势能实际上是物体和地球所共有的

2．如图 7-3-11 所示，一质量为 m、边长为 a 的正方体与地面之间的动摩擦因数 $\mu=0.1$。为使它水平移动的距离为 a，可以采用将它翻倒或向前匀速平推两种方法，则（　　）

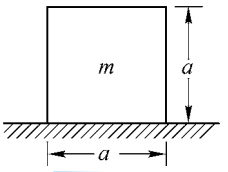


图7-3-11

 A．将它翻倒比平推前进做的功少
 B．将它翻倒比平推前进做的功多
 C．两种情况做功一样多
 D．两种情况做功多少无法比较

3．甲、乙两物体，质量大小关系为 $m_{甲}=5m_{乙}$，从很高的同一处自由下落 2s，重力做功之比为 _____。

4．如图 7-3-12 所示，劲度系数为 k_1 的轻质弹簧两端分别与质量为 m_1、m_2 的物体拴接，劲度系数为 k_2 的轻质弹簧上端与 m_2 拴接，下端压在桌面上（不拴接），整个系统处于平衡状态。现施力将 m_1 缓慢竖直上提，直到下面那个弹簧的下端刚脱离桌面。在此过程中，m_2 的重力势能增加了 _____，m_1 的重力势能增加了 _____。

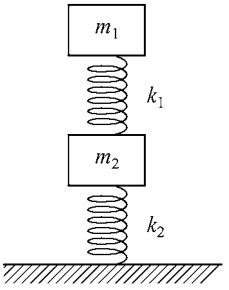


图7-3-12

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

方法的形成

★

★

结构图

知识体系　　思维操作

本节的知识结构图

指导篇

一、参考答案

行文补丁

① $-mgh_1$　② mgh_1　③ 重力做多少负功（克服重力做多少功），重力势能就增加多少。
④ 重力做正功，重力势能减少；克服重力做功，重力势能增加。有$W_G=-\Delta E_p$
⑤ 无关　⑥ 初末位置　⑦ 初末位置的高度差　⑧ mgh_{AB}

反馈题答案

【反馈 1】	
思维操作	解答过程
研究对象	水
情境图	
物理模型	认为这一部分水质量集中在其重心上
适用规律	（1）重力势能的表达式：$E_p=mgh$ （2）重力做功与重力势能变化的关系：$W_G=-\Delta E_p$
特定条件	海湾面积为 s，涨潮与退潮的水面高度为 h_1 和 h_2
决策	（1）计算水的重力 （2）计算重心的高度变化
运算过程	每次涨潮所储存水的质量为 $m=\rho V=\rho s(h_1-h_2)=2.0\times10^{10}\text{kg}$ 退潮过程中，水的重力势能减少量为 $E_p=mg\times\frac{1}{2}(h_1-h_2)=2.0\times10^{11}\text{J}$ 所以每天发出的电能为 $E=2E_p\times\eta=4.0\times10^{10}\text{J}$
分析结果	重力势能表达式中的 h 为物体的重心到零势能面的高度

【反馈 2】				
思维操作	解答过程			
依据	（1）重力做功的特点：重力的功与路径无关，与初末位置有关 （2）重力势能 （3）重力做功和重力势能变化的关系：$W_G=-\Delta E_p$			
条件和分析	A	B	C	D
	重力做功和重力势能变化的关系是 $W_G=-\Delta E_p$，所以，物体克服重力做多少功，重力势能就增加多少	抛出点到落地点的高度差相同，因而重力做功是相同的，重力势能的变化量也必然是相同的	$E_{p0}=mgh$，即重力势能的大小与零势能面的选取有关，所以，物体的重力势能为零并不能说物体的能量为零	$W_G=-\Delta E_p$ 说明无论物体的运动过程如何，克服重力做多少功，物体的重力势能就增加多少
结论	正确	正确	错误	错误

训练营答案

1．D　　2．B　　3．5:1

4．$\dfrac{m_2(m_1+m_2)}{k_2}g^2$，$m_1(m_1+m_2)g^2\left(\dfrac{1}{k_1}+\dfrac{1}{k_2}\right)$

二、整理箱提示

知识的梳理

★ 重力势能和弹性势能的概念　标签1　标签4

★ 重力做功与重力势能变化量之间的关系　标签2

★ 重力做功的特点　标签3

方法的形成

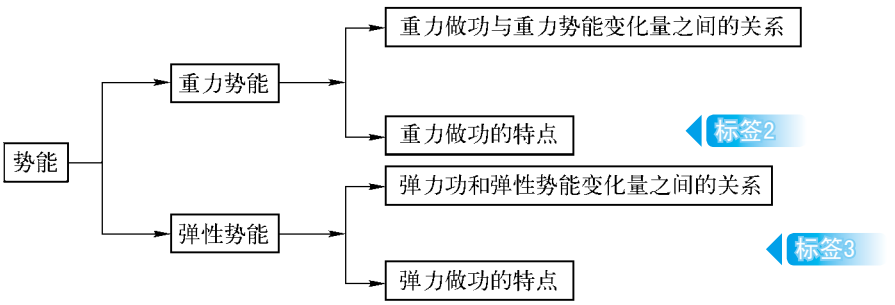
★ 微元法　标签2

★ 类比法　标签3

结构图

知识体系　　思维操作

本节的知识结构图



三、点拨与提高

现有一根弹簧，将其拉长 Δx，如图 7-3-13 所示，弹簧由于发生了弹性形变，因而储藏了一定的弹性势能。

如果用一个外力缓慢拉动弹簧，那么这个外力的大小始终等于弹簧弹力的大小，这个外力做的功就应该等于克服弹簧弹力做的功，等于弹簧的弹性势能。克服弹力做功，所以弹性势能是增加的，这与重力功和重力势能变化量之间的关系类似。在这一过程中，弹簧弹力是变力，变力做功应该怎样求解呢？

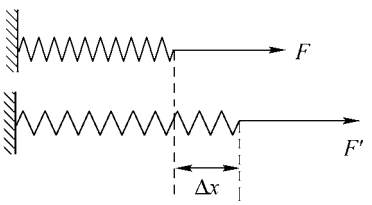


图7-3-13

可以把变力做功问题转化为恒力做功问题，具体的做法是这样的：我们把拉伸的过程分为很多小段，它们的长度是 ΔL_1，ΔL_2，ΔL_3，…在各个小段上，拉力可以近似是不变的，它们分别是 F_1，F_2，F_3，…所以在各个小段上，拉力做的功分别是 $F_1\Delta L_1$，$F_2\Delta L_2$，$F_3\Delta L_3$，…

拉力在整个过程中做的功为 $F_1\Delta L_1+F_2\Delta L_2+F_3\Delta L_3+\cdots$

这个过程就相当于是画出 $F-s$ 图像来，然后求图线与位移轴围成的面积了，面积为 $W=\frac{1}{2}\Delta x\cdot k\Delta x=\frac{1}{2}k(\Delta x)^2$

因此，从 $F-s$ 图像（图 7-3-14）中面积的物理意义可看出，弹簧的弹性势能正比于形变量的平方，其公式表述为 $E_p=\frac{1}{2}k(\Delta x)^2$。

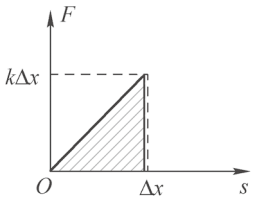


图7-3-14

第四节　动能和动能定理

体验篇

机灵鬼：“大家看过《后天》《2012》吗？超级震撼！飓风和海啸哪里来那么大的能量呢？”

艾爷爷“我这里有些图片和资料（图 7-4-1 和图 7-4-2），你们看看。”

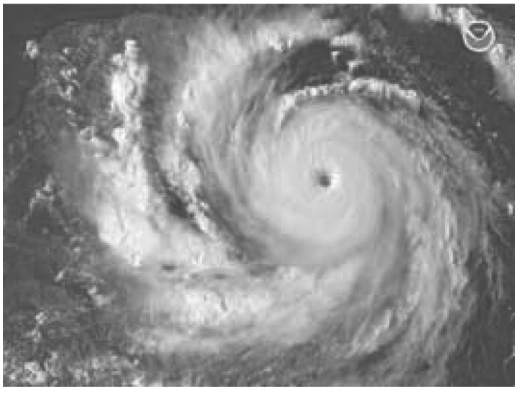


图7-4-1　飓风俯拍图

http://www.dzwww.com/xinwen/guojixinwen/200708/t20070821_2432404.htm



图7-4-2　海啸

http://hi.baidu.com/09xx/album/item/35625145f51d326b500ffe3b.html

热带气旋按其中心附近的风速分级，风速在 17m/s 以下的热带气旋称为热带低压，17 ～ 33m/s 的称为热带风暴。达到 33m/s 以上时，热带气旋被称为飓风。飓风肆虐期间，美国迈阿密机场上演了惊人一幕，几架小飞机在飓风中被拦腰斩断。

（以上文字来自 http://bbs.tiexue.net/post2_893035_1.html）

海啸是一种灾难性的海浪，由震源在海底下 50km 以内、里氏震级 6.5 以上的海底地震引起。海啸的传播速度与它移行的水深成正比，最大速度可与波音 747 轻松同步。2004 年印度洋海啸掀起的滔天巨浪有的高达 10m，13 个印度洋国家的 223 000 人消失在惊涛骇浪中，经济损失近百亿元！

（以上文字来自 http://wenwen.soso.com/z/q76967478.htm，http://hi.baidu.com/xlzb/blog/item/8d582b2d29c64c37349bf796.html）

阿牛：“我知道了，飓风和海啸之所以具有巨大的破坏力，共性在于它们都有很大的速度，而且两者都是大范围发生的，具有很大的质量。”

小芳：“初中学习过，物体的质量越大，速度越大，则物体的动能就越大。”

飓风和海啸都具有很大的质量和速度，所以两者都具有超大的动能，物体具有能量就具有对外做功的能力，因此两者会具有巨大的破坏力。

标签1

学习篇

一、 动能的大小

如图 7-4-3 所示，现有一个静止在光滑水平面的物体，如果对物体施加一水平作用力 F，并使得其发生一段位移 s 后，物体就获得了一定的动能，这时物体的动能的大小就应该等于外力 F 做的功。

小芳：“让我来推导一下吧！”

根据牛顿第二定律，$F=ma$，

由运动学公式 $v^2-0=2as$，

两式联立解得 $s=\dfrac{mv^2}{2F}$，

所以 $W_F=Fs=F\dfrac{mv^2}{2F}=\dfrac{1}{2}mv^2$，

动能的定量表达为 $E_k=\dfrac{1}{2}mv^2$。

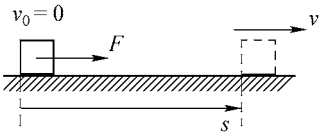


图7-4-3

机灵鬼：“噢，动能的大小应该正比于_____①和_____②，其数学表达式为 E_k=_____③。”

标签2

会说话

动能的大小

二、动能定理

如图 7-4-4 所示，假设物体初速度为 v_0，在合外力 $F_{合}$作用下，物体沿水平面运动，发生位移 s 后，速度达到 v_t。

阿牛：“推导的过程就跟小芳刚才的推导一样，这次让我来。”

根据牛顿第二定律 $F_{合}=ma$ ①

运动学公式 $v_t^2-v_0^2=2as$ ②

由②式得 $a=\dfrac{v_t^2-v_0^2}{2s}$，将其代入①中得

$F_{合}=m\dfrac{v_t^2-v_0^2}{2s}$，

将上式变形得 $F_{合}s=\dfrac{1}{2}mv_t^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2$

即 $W_{合}=E_{kt}-E_{k0}$。

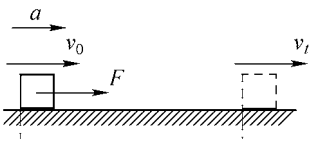


图7-4-4

阿牛：“我们是不是可以这么说，合外力的功等于物体的动能的变化量呢？”

艾爷爷：“可以，由于数学水平的限制，在这里不可能对其他一些复杂的过程进行推导，通过对复杂的过程的推导也可以得到同样的结论，这个规律叫做动能定理。”

动能定理：合外力对质点做的功等于质点的动能变化量，其数学表达式为

$W_{合}=W_{F_1}+W_{F_2}+\cdots=E_{kt}-E_{k0}$

阿牛：“艾爷爷，如果动能定理按照您的描述，动能定理只能研究单个物体了？”

标签3

艾爷爷：“不错，在高中阶段，动能定理的研究对象是单个物体，上了大学，我们会学习到质点系动能定理，可以用来研究系统问题。”

艾爷爷讲一讲

艾爷爷：“对动能定理有以下两点说明。”

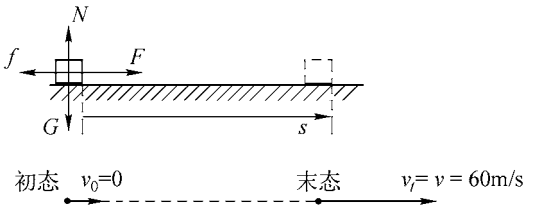
① 动能定理是一个因果律：合外力的功（即各个力在空间上的积累）是原因，结果是物体的动能发生了变化。

② $W_{F_1}+W_{F_2}+\cdots$描述的是在一个过程中，各个力做功的代数之和，所以要进行受力分析，空间分析，从而求出各个力做的功及其代数和；$E_{kt}-E_{k0}$ 描述的是该过程的末状态的动能与该过程的初状态动能的差值。因此，确定一个过程和此过程的初、末两个状态是应用动能定理的前提。

【例题 1】

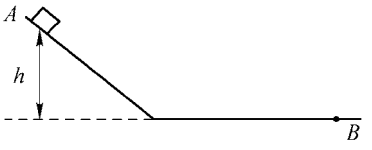
一架喷气式飞机，质量 $m=5\times10^3$kg，起飞过程中从静止开始滑跑的路程为 $s=5.3\times10^2$m 时，达到起飞速度 $v=60$m/s，设在此过程中飞机做匀加速运动阻力恒定，受到的平均阻力是飞机重量的 0.02 倍（$k=0.02$），求飞机受到的牵引力

续表

思维操作	解答过程
研究对象	飞机
情境图	会画图 
物理模型	匀加速直线运动
适用规律	（1）牛顿第二定律：$F_{合}=ma$ （2）运动学规律：$v_t^2-v_0^2=2as$ （3）动能定理：$W_{合}=W_{F_1}+W_{F_2}+\cdots=E_{kt}-E_{k0}$
特定条件	滑跑路程为 5.3×10^2 m
决策	策略一：牛顿第二定律结合运动学规律 由牛顿第二定律得 $F-kmg=ma$ 运动学公式 $v^2-0^2=2as$ 两式联立解得 $F=1.8\times10^4$ N 策略二：动能定理 ① 确定研究对象② 确定研究的过程③ 分析物体在该过程中的受力④ 分析各个力的做功情况⑤ 确定该过程的初末状态⑥ 列出动能定理的数学表达式 重力、支持力、牵引力和阻力对飞机做的功，这四个力做的功分别为 $W_G=0, W_N=0, W_F=Fs, W_{阻}=-kmgs$ 据动能定理得 $0+0+Fs-kmgs=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$ 即 $F=kmg+m\frac{v^2}{2s}$ 代入数据解得 $F=1.8\times10^4$ N 比较策略一和策略二，我们不难发现，策略一的解题过程相当于又推导了一遍动能定理
运算过程	由动能定理得 $0+0+Fs-kmgs=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$ 即 $F=kmg+m\frac{v^2}{2s}$ 代入数据解得 $F=1.8\times10^4$ N
分析结果	研究质点做匀变速直线运动时，既可以考虑用牛顿第二定律结合运动学公式的方法，又可以考虑用动能定理
会操作	记住解题的这八个规范操作步骤！ 确信你能独立重复！

【反馈 1】

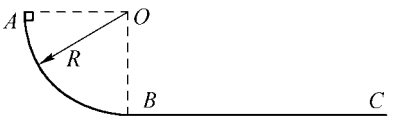
如右图所示，物体从高为 h 的斜面体的顶端 A 由静止开始滑下，滑到水平面上的 B 点停止，A 到 B 的水平距离为 s，已知斜面体和水平面都由同种材料制成。（从斜面到水平面的转折过程是圆滑过渡，没有能量损失）求物体与接触面间的动摩擦因数。

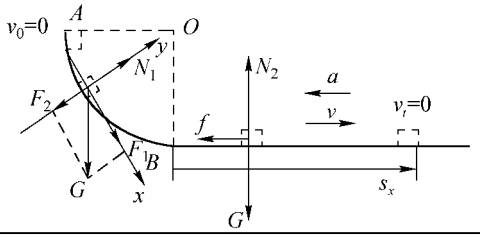


思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	
决策	
运算过程	

【例题 2】

如右图所示，半径为 1m 的 1/4 光滑圆弧轨道 AB，与 BC 平面相切，连接处无摩擦；BC 水平且动摩擦因数 $\mu = 0.2$。质量为 2kg 的物体从 A 点静止出发沿轨道滑下，问物体在 BC 平面上能滑行多远？



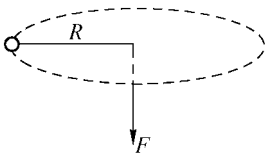
思维操作	解答过程
研究对象	物体
情境图	 会画图
物理模型	变速曲线运动、匀减速直线运动
适用规律	（1）牛顿第二定律：$F_{合}=ma$ （2）牛顿第二定律在圆周运动的体现：$F_{向}=ma_{向}=m\dfrac{v^2}{R}$ （3）运动学规律：$v_t^2-v_0^2=2as$ （4）动能定理：$W_{合}=W_{F_1}+W_{F_2}+\cdots=E_{kt}-E_{k0}$
特定条件	圆弧半径为 1m，水平轨道 BC 足够长
决策	**策略一：牛顿第二定律结合运动学** 阶段 1：物体沿着圆弧轨道下滑 在该过程中，重力沿切线方向的分力 F_1 在变化，由牛顿第二定律可得 $F_1=ma_{切}$ 所以加速度也在变化，即物体做的是变速圆周运动，目前无法用牛顿第二定律来研究该过程，所以无法求解 v_B 阶段 2：物体沿着水平轨道 BC 做匀减速直线运动 牛顿第二定律：$f=ma$ 运动学公式：$0-v_B^2=-2as_x$ 但 v_B 终究是无法求解的，所以物体在 BC 长轨道上滑行的距离 s_x 无法求解 **策略二：动能定理** 阶段 1：物体沿着圆弧轨道下滑 $mgR=\dfrac{1}{2}mv_B^2-0$　　① 阶段 2：物体沿着水平轨道 BC 做匀减速直线运动 $-\mu mgs_x=0-\dfrac{1}{2}mv_B^2$　　② 由①②两式可以求得 $s_x=\dfrac{R}{\mu}=5\text{m}$ 若研究从刚开始下滑到最后速度为零的整个过程，运用动能定理得 $mgR-\mu mgs_x=0-0$　　③ $s_x=\dfrac{R}{\mu}=5\text{m}$

续表

决策	细心的同学不难发现，③式实际上是①②两式相加后所得的结果，原因就在于③式所研究的过程就是①②两式所研究的过程的总过程
运算过程	研究从刚开始下滑到最后速度为零的整个过程，运用动能定理得 $mgR-\mu mgs_x=0-0$ 解得 $s_x=\dfrac{R}{\mu}=5\text{m}$
分析结果	（1）研究质点的运动，如果是匀变速直线运动过程，可以考虑用牛顿第二定律结合运动学公式，又可以考虑用动能定理 （2）研究质点的运动，如果是加速度变化的运动过程，牛顿定律往往解决不了问题，要考虑用动能定理 （3）与力的观点（牛顿第二定律结合运动学）的区别：动能定理更着重于整体法思想（过程的整体性），力的观点更着重于隔离法的思想（过程的隔离） 无论如何，解题之前，都必须以牛顿第二定律为工具，把问题的状态和过程分析清楚
会操作	记住解题的这八个规范操作步骤！确信你能独立重复！

【反馈 2】

如右图所示，光滑水平桌面上开一个光滑小孔，从孔中穿一根细绳，绳一端系一个小球，另一端用力 F_1 向下拉，以维持小球在光滑水平面上做半径为 R_1 的匀速圆周运动，如图所示，今改变拉力，当大小变为 F_2，使小球仍在水平面上做匀速圆周运动，但半径变为 R_2，小球运动半径由 R_1 变为 R_2 过程中拉力对小球做的功多大？



思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	
决策	

续表

运算过程	

我的训练营

1. 如图 7-4-5 所示，一物体由 A 点以初速度 v_0 下滑到底端 B，它与挡板做无动能损失的碰撞后又滑回到 A 点，其速度正好为零，设 A、B 两点高度差为 h，则它与挡板碰撞前的速度大小为（　　）

A. $\sqrt{2gh+\frac{v_0^2}{4}}$　　B. $\sqrt{2gh}$

C. $\sqrt{2gh+\frac{v_0^2}{2}}$　　D. $\sqrt{2gh+v_0^2}$

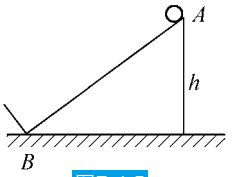


图7-4-5

2. 一质量为 m 的小球，用长为 L 的轻绳悬挂于 O 点。小球在水平力 F 作用下，从平衡位置 P 点很缓慢地移动到 Q 点，如图 7-4-6 所示，则力 F 所做的功为（　　）

A. $mgL\cos\theta$　　B. $FL\sin\theta$

C. $mgL(1-\cos\theta)$　　D. $FL\cos\theta$

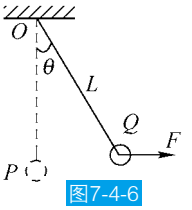


图7-4-6

3. 一质量为 2kg 的铅球从离地面 2m 高处自由下落，陷入沙坑 2cm 深处，求沙子对铅球的平均阻力。（g 取 10m/s^2）

4. 如图 7-4-7 所示，质量为 m 的物体由高为 H 的斜面顶端滑下，刚好能到达另一高为 h（$H>h$）的斜面顶端，此时若要使物体恰能返回高为 H 的斜面顶端，对物体 m 至少要做多少功？

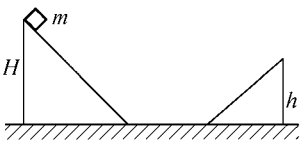


图7-4-7

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

方法的形成

★

结构图

知识体系

本节的知识结构

思维操作

运用动能定理的思维操作流程图

指导篇

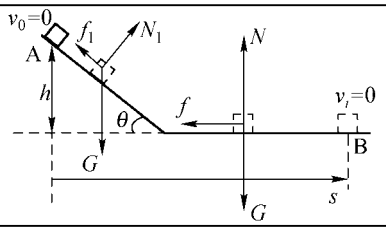
一、参考答案

行文补丁

①质量　②速度的平方　③ $\frac{1}{2}mv^2$

反馈题答案

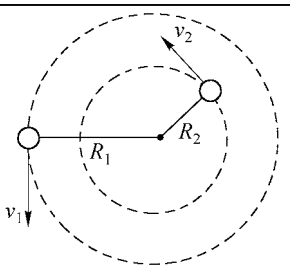
【反馈 1】

思维操作	解答过程
研究对象	物块
情境图	
物理模型	匀加速直线运动
适用规律	（1）牛顿第二定律：$F_{合}=ma$ （2）运动学规律：$v_t^2-v_0^2=2as$ （3）动能定理：$W_{合}=W_{F_1}+W_{F_2}+\cdots=E_{kt}-E_{k0}$
特定条件	物块的高度，出发点到终点的水平距离
决策	**策略一**：牛顿第二定律结合运动学规律 以物块为研究对象，对于沿斜面下滑阶段，根据牛顿第二定律得 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_1$　① 由运动学公式得 $v^2-0^2=2a_1L_1$　② L_1 为斜面的长度 对于沿着水平面减速阶段，由牛顿第二定律得 $\mu mg=ma_2$　③ 由运动学公式得 $0^2-v^2=-2a_1L_2$　④ L_2 为物块沿水平面滑动的距离 $s=L_1\cos\theta+L_2$　⑤ $h=L_1\sin\theta$　⑥ 以上六式联立解得 $\mu=\frac{h}{s}$ **策略二**：动能定理 （1）确定研究对象；（2）确定研究的过程；（3）分析物体在该过程中的受力；（4）分析各个力的做功情况；（5）确定该过程的初末状态；（6）列出动能定理的数学表达式 以物块为研究对象，将下滑过程和在水平面上的减速过程看为一个过程，由动能定理得 $mgh-W_{f_1}-W_{f_2}=0-0$

续表

决策	所以，$mgh-\mu(mg\cos\theta)L_1-\mu mgL_2=0$ $s=L_1\cos\theta+L_2$ 即 $mgh-\mu mgs=0$ 所以，$\mu=\dfrac{h}{s}$
运算过程	由动能定理得 $mgh-W_{f_1}-W_{f_2}=0-0$ 所以 $mgh-\mu(mg\cos\theta)L_1-\mu mgL_2=0$ $s=L_1\cos\theta+L_2$ 即 $mgh-\mu mgs=0$ 所以，$\mu=\dfrac{h}{s}$

【反馈 2】

思维操作	解答过程
研究对象	小球
情境图	
物理模型	匀速圆周运动
适用规律	（1）牛顿第二定律：$F_{合}=ma$ （2）向心加速度 $a_{向}=\dfrac{v^2}{r}=\omega^2 r=\dfrac{4\pi^2}{T^2}r$ （3）动能定理：$W_{合}=W_{F_1}+W_{F_2}+\cdots=E_{kt}-E_{k0}$
特定条件	半径原为 R_1 后变为 R_2
决策	（1）研究小球从半径 R_1 变到 R_2 的运动过程 由于小球的速度和受到绳子的拉力都在不断变化，其运动情况不是我们熟悉的平抛或圆周运动，所以无法运用牛顿第二定律结合运动学公式进行求解。而动能定理恰恰在此时显示了它求解变力功的优势 （2）研究小球分别以 R_1 和 R_2 做圆周运动的状态 只要小球做圆周运动，那么任意时刻小球受到的绳子拉力大小都应满足按照牛顿第二定律 $ma_{向}$ 计算出来的向心力大小。因此可以结合牛顿第二定律和向心加速度公式求解小球在不同半径下做圆周运动的速度大小
运算过程	当小球做半径为 R_1 的匀速圆周运动时，$F_1=m\dfrac{v_1^2}{R_1}$ ① 当小球做半径为 R_2 的匀速圆周运动时，$F_2=m\dfrac{v_2^2}{R_2}$ ②

续表

运算过程	研究由半径为 R_1 的匀速圆周运动变为半径为 R_2 的圆周运动的过程，由动能定理： $W_F=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$　　③ 三式联立解得 $W_F=\frac{1}{2}F_2R_2-\frac{1}{2}F_1R_1$

训练营答案

1．C.　　2．C　　3．2020N　　4．$2mg(H-h)$

二、整理箱提示

知识的梳理

★动能的概念 标签1

★动能的大小 标签2

★动能定理的内容及其数学表达式 标签3

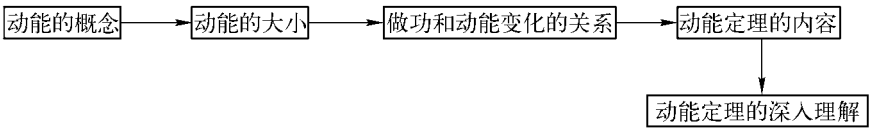
方法的形成

★归纳的方法 标签2

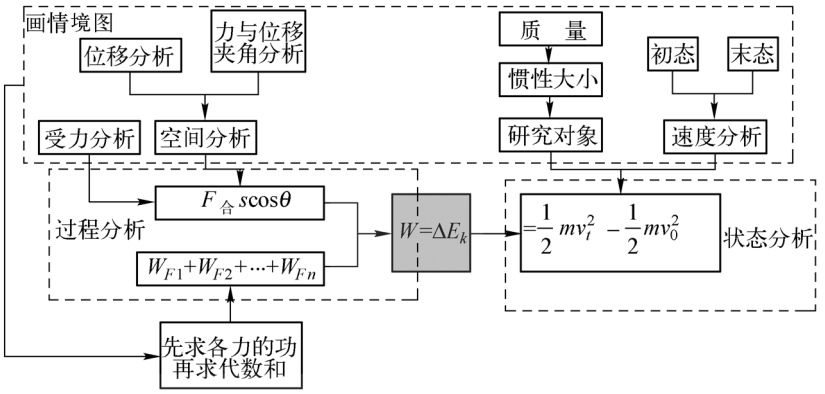
结构图

知识体系　　**思维操作**

本节的知识结构图 标签1 标签2



运用动能定理的思维操作流程图 标签3



三、点拨与提高

机灵鬼：“我想汇报一下我对这一部分知识的理解。功是过程量，它和一段位移相对应；而能是

状态量，它与一个时刻相对应。两者的单位是相同的（都是焦耳），但不能说功就是能，能就是功。”

艾爷爷：“你说得很对，但两者的关系是什么呢？”

机灵鬼：“通过对势能一节的学习，我们知道：重力做了多少功，重力势能就减少多少；弹力做了多少功，弹性势能就减少多少。”

艾爷爷：“根据能量守恒定律，能量是不会凭空产生也不会凭空消失的，那么增加的势能是从哪里转化来的？减少的势能又转化到哪里去呢？下面我们来解决两个问题，以便对功和能的相关问题有一个深入的认识。”

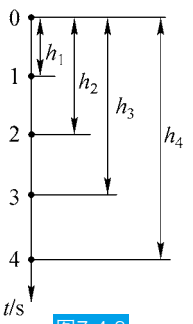


图7-4-8

问题 1：质量为 1kg 的物体做自由落体运动，高度足够高，分组计算 1s 内、2s 内、3s 内、4s 内的物体的动能变化量、重力势能变化量（以开始下落点为零势能点，g=10m/s^2）并进行比较。

阿牛：“如图 7-4-8 所示，我利用位移公式 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 求得各段时间内下落的高度，从而求得物体在各段时间内的势能变化量；利用动能定理 $W_{F_{合}}=\Delta E_k$ 可求物体在各段时间内的动能变化量，我把计算出来的数值列在下表里了。”

	动能变化量 ΔE_k（J）	势能变化量 ΔE_p（J）	关　系
1s 末	50	−50	
2s 末	200	−200	
3s 末	450	−450	
4s 末	800	−800	

小芳：“动能的变化量和势能的变化量等大且互为相反数。”

艾爷爷：“看问题不能只看表象，这个结果能说明什么问题呢？”

阿牛：“呵呵，这个问题很简单，在物体做自由落体运动的任一段时间内，根据动能定理有 $W_G=\Delta E_k$，而重力做功和重力势能变化量之间的关系为 $W_G=-\Delta E_p$，对比这两个式子，不难发现 $\Delta E_k=-\Delta E_p$，所以会有上面的结果。”

艾爷爷：“那么重力做功起到了什么作用呢？”

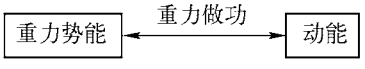
阿牛：“ $W_G=\Delta E_k$ 意味着重力做功使得动能增加；$\Delta E_k=-\Delta E_p$ 意味着重力做功使得重力势能相应减少。所以，重力做功使得重力势能向动能转化，重力做了多少功就有多少重力势能转化为了动能。”

艾爷爷：“初中我们学习了能量守恒定律，这个定律在刚才这个问题上是怎样体现的呢？”

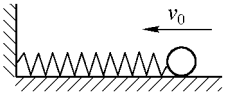
小芳：“根据阿牛同学刚才的描述，重力势能减少多少，动能就增加多少，并且在这一过程中，只发生了动能和势能之间的转化，所以，动能与重力势能之和是不变的。”

艾爷爷：“很好，机灵鬼，你能把我们刚才说的问题总结一下吗？”

机灵鬼：“好的，在只有重力做功的情况下，只发生了重力势能和动能之间的相互转化，重力做了多少功，就有多少动能和重力势能之间发生了转化，$W_G=-\Delta E_p$，即动能与重力势能之和不变。重力的作用可用下图来表示。”



艾爷爷：“非常好，再来看一个和弹簧有关的问题吧。”



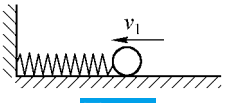


图7-4-9

问题 2：如图 7-4-9 所示，一轻弹簧一端固定于墙上，另一端连接一质量为 m 的小球，整体放在光滑的水平面上，现如给小球一水平速度 v_0，

经过一段时间后，我们发现小球速度仍向左，大小为 v_1。那么这一过程中，动能的变化量是多少？弹性势能的变化量是多少？

阿牛：“我想到怎么来解决问题了。在该过程中，对小球用动能定理有如下。”

$$W_{弹}=\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_0^2 \qquad ①$$

由弹力做功和弹性势能的变化关系有 $W_{弹}=-\Delta E_p$ ②

机灵鬼：“哦，由①②两个式子不难看出，$\Delta E_k=-\Delta E_p$，即动能的变化量与弹性势能的变化量相等但互为相反数。”

艾爷爷：“那么弹力做功起到了什么作用呢？”

阿牛：“$W_{弹}=\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，意味着弹力做功使得动能减少。$W_{弹}=-\Delta E_p$，意味着弹力做功使得弹性势能相应减少。所以，克服弹力做功使得动能向弹性势能转化，弹力做了多少功就有多少动能转化为了弹性势能。”

艾爷爷：“能量守恒定律在刚才这个问题上是怎样体现的呢？”

小芳：“根据阿牛同学刚才的描述，动能减少多少，弹性势能就增加多少，并且在这一过程中，只发生了动能和弹性势能之间的转化，所以，动能与弹性势能之和是不变的。”

艾爷爷：“很好。机灵鬼，你再把我们刚才说的问题总结一下吧。”

机灵鬼：“**在只有弹力做功的情况下，只发生了弹性势能和动能之间的相互转化，弹力做了多少功，就有多少动能和弹性势能之间发生了转化，即 $\Delta E_k=-\Delta E_p$。**”

所以动能与弹性势能之和不变，弹力的作用表示为 弹性势能 ←弹力做功→ 动能

机灵鬼：“通过对这两个例子的推敲，我是不是可以这么说，自然界中两种不同形式的能量之间相互转化是靠做功来实现的？”

艾爷爷：“**功是能量转化的量度，即做了多少功必然伴随多少能量发生了转化，反之转化了多少能量必定通过做了多少功来实现。**”

这个过程可以表示为 $E_1 \xleftrightarrow{W} E_2$

阿牛：“哦，我们这节课学习的动能定理就是功和能的关系的体现，合外力做功引起了动能和其他形式的能之间的相互转化。”

这个过程可以表示为 $E_k \xleftrightarrow{W_{合}}$ 其他形式的能

艾爷爷：“很会举一反三嘛。随着这章知识的深入学习，你们对功和能之间的关系的理解会越来越深刻。下面让我们继续学习下一节的知识吧。”

第五节　机械能守恒定律

体验篇

艾爷爷：“在 19 世纪中叶，一些科学家曾测量落差大的瀑布，发现山上和山下水温竟然相差 1℃左右，猜猜哪里的水温高？”

阿牛：“山下？越高的地方温度越低。”

小芳：“世界上落差最大的瀑布为委内瑞拉的安赫尔瀑布，落差大约为 1000m，如图 7-5-1 所示。根据运动学公式估算，水由山顶流到山下，用时 15 秒多一些，在这么短的时间内，热传递很微弱，热传递几乎不会改变水的温度。我认为山上的流水具有动能和重力势能，流水落到山下和岩石撞击后，会损失相当一部分动能，这部分损失的动能就会转化为水的内能，所以水温升高了。”



委内瑞拉的安赫尔瀑布

图7-5-1

艾爷爷：“解释得漂亮！水的内能的增加来源于动能的减少，这是能量转化和守恒定律在生活中的一个体现。能量转化和守恒定律、细胞的发现和生物进化论合称为 19 世纪自然科学的三大发现，可见掌握能量守恒的思想对我们认识世界是多么的重要。下面让我们从机械能的角度来体会能量的转移和转化的问题吧。”

学习篇

一、 机械能



标签1

艾爷爷：“自然界中有很多的能量形式，如动能、重力势能、弹性势能、内能、电能、磁能、核能……还有很多我们未知的能量形式。众多能量形式中，动能、重力势能和弹性势能是属于力学范畴的，统一叫做机械能，也就是说机械能是动能、重力势能和弹性势能的统称。用 E 来表示机械能：$E = E_k + E_p$。”

二、机械能守恒定律



标签2

在只有重力或决定系统弹性势能的弹力做功的物体系统内，动能与势能可以相互转化，而总的机械能保持不变。这个规律叫做机械能守恒定律。”

如果在一个过程中物体系的机械能守恒，例如一做平抛运动的小球，在这一过程中，我们任意选取两个状态：状态 1 和状态 2。状态 1 的机械能为 $E_{k1} + E_{p1}$，状态 2 的机械能为 $E_{k2} + E_{p2}$，那么应该有 $E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$。

标签3

如果在一个过程中物体系的机械能守恒，那么在动能和势能转化的任一过程中，有相应的能量减少，同时也必有相应的能量增加，而机械能不变，所以，必有 $\Delta E_{减} = \Delta E_{增}$。

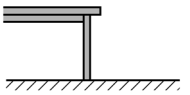
机灵鬼：“我来总结一下吧。”机械能守恒定律的研究对象是 _____①，定律的成立条件是 _____②定律的两种数学表达式是 _____ _____③和 _____④。

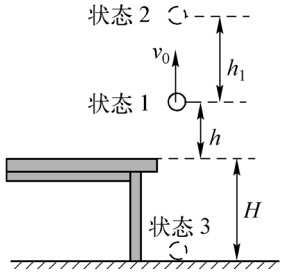
会说话

对机械能守恒定律的理解

【例题 1】

如右图所示，桌面距离地面高度为 H，距离桌面高为 h 处将一质量为 m 的小球以速度 v_0 竖直向上抛出，以桌面为零势能面，求小球落回地面时的机械能为多大？



思维操作	解答过程
研究对象	小球
情境图	 **会画图** 画情境图，要画出相应的关键状态，相应的过程，并体现出相应的时空关系
物理模型	竖直上抛运动
适用规律	竖直上抛运动的规律、动能定理、机械能守恒定律
特定条件	初速度为 v_0，分析回地面时的机械能
决策	（1）采用逆向思考的方式，目标是求解小球落回地面时的机械能，把问题转化为求解小球落回地面时的动能和势能 （2）以桌面为零势能面，小球在地面时的重力势能 $E_p=-mgH$ （3）求解小球落地时的动能 **策略 1**：利用竖直上抛运动的规律 研究小球的上升过程 $0-v_0^2=-2gh_1$，h_1 为小球又上升的高度 研究小球的下落过程 $v_t^2-0=2g(H+h+h_1)$，所以落地时，小球的动能为 $E_k=\frac{1}{2}mv_t^2=mg(H+h+h_1)$，即 $E_k=mg(H+h)+mgh_1$ 将 $h_1=\frac{v_0^2}{2g}$ 代入上式，则 $E_k=mg(H+h)+\frac{1}{2}mv_0^2$ **策略 2**：利用动能定理求解 研究从状态 1 到状态 3 这一过程，由动能定理得 $mg(H+h)=E_k-\frac{1}{2}mv_0^2$ 所以，$E_k=mg(H+h)+\frac{1}{2}mv_0^2$ 由策略 1 和策略 2 解得的动能都是 $E_k=mg(H+h)+\frac{1}{2}mv_0^2$ 所以机械能为 $E=E_k+E_p=mgh+\frac{1}{2}mv_0^2$ **策略 3**：对全程分析，只有重力做功，所以整个过程机械能守恒，小球落地时的机械能等于刚抛出时的机械能，就是小球在状态 1 时的机械能。通过对策略 1、2 和 3 的比较，我们不难发现，利用策略 3 来解决本题的效率最高
运算过程	在整个过程中，只有重力做功，机械能守恒，所以小球在状态 1 的机械能等于小球在状态 3 的机械能，所以 $E_0=E_t$。 以桌面为零势能面，有 $E_t=\frac{1}{2}mv_0^2+mgh$，即落地时的机械能为 $\frac{1}{2}mv_0^2+mgh$

续表

分析结果	（1）运用机械能守恒定律来解题时，先要判定是否满足守恒条件 （2）在运用机械能守恒定律的数学表达式 $E_{k1}+E_{p1}=E_{k2}+E_{p2}$ 来解决问题时，要规定好零势能面，零势能面不同，定律的表达形式将不同 （3）应用机械能守恒定律来解决问题时，关键是要找准两个状态。定律对过程的要求虽然不是很高，但我们仍然要将以前的良好习惯保持下来，通过受力分析和运动模型分析，准确地把握过程和状态，以使得过程清晰，状态明确
会操作	记住解题的这八个规范操作步骤！ 确信你能独立重复！

【反馈 1】

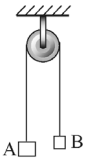
从离地高为 H 的阳台上以速度 v 竖直向上抛出质量为 m 的物体，它上升一定高度后又返回下落，最后落在地面上。求物体落地时的动能为多大？（不计空气阻力，以地面为参考面）

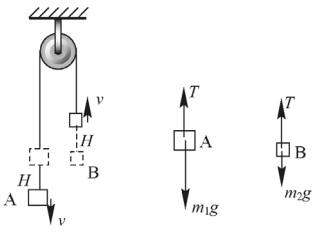
思维操作	解答过程
研究对象	
情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	
决策	
运算过程	

续表

【例题 2】

如右图所示，天花板下固定一定滑轮，一轻绳跨过定滑轮，绳两端连接有质量分别为 m_1 和 m_2 的重物 A 和 B，且有 $m_1>m_2$，由静止释放两物体。求当重物 A 下降 H 高度时，A 的速度为多大？



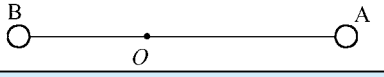
思维操作	解答过程
研究对象	重物 A 和 B
情境图	
物理模型	匀加速直线运动
适用规律	牛顿第二定律、运动学公式、动能定理、机械能守恒定律
特定条件	分析重物下落高度 H 时的状态
决策	**策略 1**：分别选择 A 和 B 作为研究对象 利用牛顿第二定律 对 A：$m_1g-T=m_1a$ 对 B：$T-m_2g=m_2a$ 两式联立解得 $a=\dfrac{m_1-m_2}{m_1+m_2}g$ 对 A 有 $v^2-0=2aH$ 所以 $v=\sqrt{2\dfrac{m_1-m_2}{m_1+m_2}gH}$ **策略 2**：分别选择 A 和 B 作为研究对象 利用动能定理 对 A：$m_1gH-TH=\dfrac{1}{2}m_1v^2-0$　　① 对 B：$TH-m_2gH=\dfrac{1}{2}m_2v^2-0$　　② ①②两式相加解得 $m_1gH-m_2gH=\dfrac{1}{2}m_1v^2+\dfrac{1}{2}m_2v^2$　　③ 解得 $v=\sqrt{2\dfrac{m_1-m_2}{m_1+m_2}gH}$ **策略 3**：以 A、B 和轻绳构成的系统为研究对象，利用机械能守恒定律，可以采用机械能守恒定律的两种表达形式 $E_{k1}+E_{p1}=E_{k2}+E_{p2}$ 和 $\Delta E_{减}=\Delta E_{增}$

续表

决策	细心的同学会发现利用动能定理解题中的③式就是机械能守恒定律的表达形式。策略 1 和策略 2 是在用隔离法来解决问题，而策略 3 是在用整体法来解决问题。方法本无好坏，但在解决问题的效率上，高下立判
运算过程	以 A、B 和轻绳构成的系统为研究对象，研究从初始状态到末状态这一过程，根据机械能守恒定律有 $\Delta E_{减}=\Delta E_{增}$ $m_1gH=m_2gH+\frac{1}{2}m_1v^2+\frac{1}{2}m_2v^2$ 解得 $v=\sqrt{2\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}gH}$ 本题也可以利用机械能守恒定律的另一种表达形式 $E_{k1}+E_{p1}=E_{k2}+E_{p2}$ 来解决问题 以天花板为零势能面，设 m_1 到天花板的距离为 l_1，m_2 到天花板的距离为 l_2，则有 $-m_1gl_1+(-m_2gl_2)=-m_1g(l_1+H)-m_2g(l_2-H)+\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$ 解得 $v=\sqrt{2\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}gH}$ 如果以地面为零势能面，设 m_1 到地面的距离为 l_1，m_2 到地面的距离为 l_2，则有 $m_1gl_1+m_2gl_2=m_1g(l_1-H)+m_2g(l_2+H)+\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$ 解得 $v=\sqrt{2\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}gH}$
分析结果	（1）利用 $E_{k1}+E_{p1}=E_{k2}+E_{p2}$ 的表达形式进行解题时，零势能面的选取不同，方程的形式不同，但结果必然是相同的 （2）利用 $E_{k1}+E_{p1}=E_{k2}+E_{p2}$ 的表达形式进行解题时，需要规定零势能面；利用 $\Delta E_{减}=\Delta E_{增}$ 的表达形式进行解题时，不需要规定零势能面 （3）可以根据研究对象选择规律。研究对象如果是单体，可供我们选择的规律有牛顿第二定律和动能定理；研究对象如果是系统，可供我们选择的规律有牛顿第二定律、机械能守恒定律
会操作	记住解题的这八个规范操作步骤！ 确信你能独立重复！

【反馈 2】

如下图所示，一轻质杆可以绕轴 O 在竖直面内转动，杆两端分别有质量均为 $m=1\text{kg}$ 的小球 A 和 B，小球 A 到 O 的距离为 2m，小球 B 到 O 点的距离为 1m，原来轻杆水平，现放手让其转动，当杆转动到竖直位置时，两球的速度各为多大？ (g=10m/s^2)



思维操作	解答过程
研究对象	

续表

情境图	
物理模型	
适用规律	
特定条件	
决策	
运算过程	



我的训练营

1．在下列实例中运动的物体，不计空气阻力，机械能不守恒的是（　　）

A．起重机吊起物体匀速上升

B．物体做平抛运动

C．圆锥摆球在水平面内做匀速圆周运动

D．一个轻质弹簧上端固定，下端系一重物，重物在竖直方向上做上下振动（以物体和弹簧为研究对象）

2．如图 7-5-2 所示，质量和初速度大小都相同的 A、B、C 三个小球，在同一水平面上，A 球竖直上抛，B 球以倾角 θ 斜上抛，C 球沿倾角为 θ 的固定光滑斜面上滑，不计空气阻力，它们上升的最大高度分别为 h_A、h_B、h_C，则（　　）

A．$h_A=h_B+h_C$　　B．$h_B=h_C<h_A$

C．$h_A=h_C>h_B$　　D．$h_A>h_B$，$h_A>h_C$

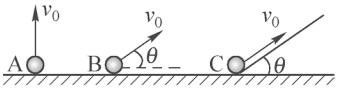


图7-5-2

3．将物体由地面竖直上抛，如果不计空气阻力，物体能够达到的最大高度为 H，当物体在上升过程中的某一位置，它的动能是重力势能的 2 倍，则这一位置的高度为（　　）

A．$\frac{2}{3}H$　　B．$\frac{1}{2}H$　　C．$\frac{1}{3}H$　　D．$\frac{1}{4}H$

4．某人抛出一个小球，小球出手时的速度为 4m/s，落地时的速度为 8m/s，若不计空气阻力（取 $g=10\text{m/s}^2$），则小球出手时距地面的高度为 _____m。

5．一轻绳上端固定，下端连一质量为 0.05kg 的小球。若小球摆动过程中轻绳偏离竖直线的最大角度为 60°，则小球经过最低点时绳中张力等于 _____N。(g 取 10m/s^2)

6．图 7-5-3 中圆弧轨道 AB 是在竖直平面内的 1/4 圆周，在 B 点，轨道的切线是水平的，一质点自 A 点从静止开始下滑，不计滑块与轨道间的摩擦和空气阻力，则在质点刚要到达 B 点时的加速度大小为 _____，刚滑过 B 点时的加速度大小为 _____。

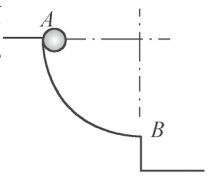


图7-5-3

7．如图 7-5-4 所示，一内壁光滑的环形圆管，位于竖直平面内，环的半径为 R（R 比细管的半径大得多），在圆管中有两个直径与细管内径相同的小球（可视为质点）。A 球的质量为 m_1，B 球的质量为 m_2，它们沿环形圆管顺时针运动，经过最低点时的速度都为 v_0，设 A 球运动到最低点时，B 球恰好运动到最高点。若要此时两球作用于圆管的合力为零，那么，m_1、m_2、R 与 v_0 应满足的关系是什么？

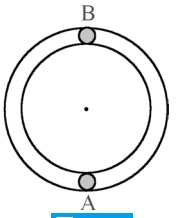


图7-5-4

我的整理箱

知识的梳理

★

★

★

方法的形成

★

结构图

知识体系　　思维操作

机械能守恒知识结构和思维操作流程图

功和能知识结构图

指导篇

一、参考答案

行文补丁

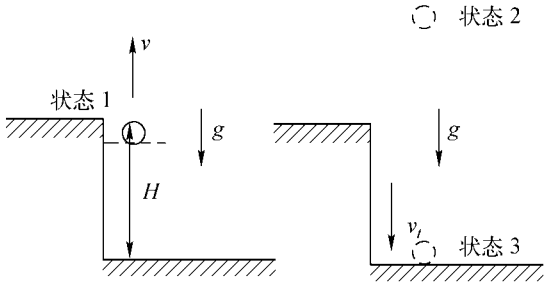
① 多个相互作用的物体构成的系统　②物体系内，只有重力或决定系统弹性势能的弹力做功

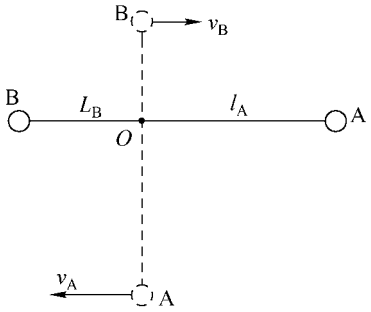
③ $E_{k1}+E_{p1}=E_{k2}+E_{p2}$　　④ $\Delta E_{减}=\Delta E_{增}$

反馈题答案

【反馈 1】	
思维操作	解答过程
研究对象	小球

续表

情境图	
物理模型	竖直上抛运动
适用规律	竖直上抛运动的规律、动能定理、机械能守恒定律
特定条件	分析的特定状态是落地时的动能
决策	（1）采用逆向思考的方式，目标是求解小球落地时的动能 （2）可以考虑的方法有：① 求解小球落地时的速度；② 利用动能定理求解落地时的动能；③ 如果以地面为零势能面，则落地时的动能就是小球的机械能 **策略 1**：利用竖直上抛运动的规律 研究上升，过程有 $0-v^2=-2gh$，h 为小球又上升的高度 研究小球的下落过程，$v_t^2-0=2g(H+h)$， 所以落地时，小球的动能为 $E_{kt}=\frac{1}{2}mv_t^2=mg(H+h)$ 将 $h=\frac{v^2}{2g}$ 代入上式得 $E_{kt}=mgH+\frac{1}{2}mv^2$ **策略 2**：利用动能定理求解 研究从状态 1 到状态 3 这一过程，由动能定理得 $mgH=E_{kt}-E_{k0}$ 即 $mgH=E_{kt}-\frac{1}{2}mv^2$ 解得 $E_k=mgH+\frac{1}{2}mv^2$ **策略 3**：对全程分析，只有重力做功，所以整个过程机械能守恒，如果以地面为零势能面，研究状态 1 和状态 3，由机械能守恒定律得 $mgH+\frac{1}{2}mv^2=0+E_{kt}$ 解得 $E_k=mgH+\frac{1}{2}mv^2$ 比较三个策略发现，策略 1 更注重过程的分析，而策略 2 动能定理和策略 3 机械能守恒定律对过程分析的要求相对要低一些。但要注意，对力和运动的分析仍然是解决物理问题的基本前提，做好受力分析，使得过程清晰，状态明确，从而可以进行规律的优化选择
运算过程	研究状态 1 和状态 3，由机械能守恒定律得 $mgH+\frac{1}{2}mv^2=0+E_{kt}$ 解得 $E_k=mgH+\frac{1}{2}mv^2$

<table>
<tr><th colspan="2">【反馈 2】</th></tr>
<tr><td>思维操作</td><td>解答过程</td></tr>
<tr><td>研究对象</td><td>球 A 和 B 以及轻杆</td></tr>
<tr><td>情境图</td><td>
</td></tr>
<tr><td>物理模型</td><td>变速圆周运动</td></tr>
<tr><td>适用规律</td><td>牛顿第二定律：$F_{合}=ma$
动能定理：$W_{合}=W_{F_1}+W_{F_2}+\cdots=E_{kt}-E_{k0}$
机械能守恒定律：$E_{k1}+E_{p1}=E_{k2}+E_{p2}$　或 $\Delta E_{减}=\Delta E_{增}$</td></tr>
<tr><td>特定条件</td><td>小球固定在轻杆的两端，所以两球到转轴的距离一定，分别为 2m 和 1m，两球具有相同的角速度</td></tr>
<tr><td>决策</td><td>**策略 1**：运用牛顿第二定律
在此转动过程中，①小球做的是变速圆周运动，加速度是变化着的。②杆对小球的弹力也并不总是沿杆方向，且该弹力大小也未知
所以用牛顿第二定律来研究此过程是不可行的
策略 2：动能定理
动能定理的研究对象是单个质点，如果研究单个小球，由动能定理得
$W_G+W_{杆}=\Delta E_k$
根据策略一当中的分析，由于杆的弹力未知，所以杆的弹力功此时无法求解，当然无法求取末速度了。
策略 3：机械能守恒定律
研究两球以及轻杆组成的系统，轻杆的弹力属于系统内力，系统受到重力以及转轴的作用力，但只有重力做功，所以此系统在转动过程中机械能守恒
研究该转动过程的初末状态，以初态两球所在平面为零势能面，有
$0=-m_Agl_A+m_Bgl_B+\frac{1}{2}m_Av_A^2+\frac{1}{2}m_Bv_B^2$
且有 $v_A=\omega l_A$　，$v_A=\omega l_B$
两式联立解得 $\omega=2\text{rad/s}$，$v_A=4\text{m/s}$，$v_B=2\text{m/s}$，或用机械能守恒定律的另一种数学表达 $\Delta E_{减}=\Delta E_{增}$，
有 $m_Agl_A=m_Bgl_B+\frac{1}{2}m_Av_A^2+\frac{1}{2}m_Bv_B^2$</td></tr>
<tr><td>运算过程</td><td>研究该转动过程的初末状态，由机械能守恒定律得 $\Delta E_{减}=\Delta E_{增}$</td></tr>
</table>

续表

运算过程	所以有 $m_A g l_A = m_B g l_B + \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2$，且有 $v_A = \omega l_A$，$v_B = \omega l_B$ 两式联立解得 $\omega = 2\text{rad/s}$，$v_A = 4\text{m/s}$，$v_B = 2\text{m/s}$

训练营答案

1.A　2.C　3.C　4. 2.4　5. 1　6. $2g$　g

7. $m_1 g + 5m_2 g = m_2 \frac{v_0^2}{R} + m_1 \frac{v_0^2}{R}$

二、整理箱提示

知识的梳理

★机械能的定义　标签1

★机械能守恒定律的内容　标签2

★机械能守恒定律的两种数学表达式　标签3

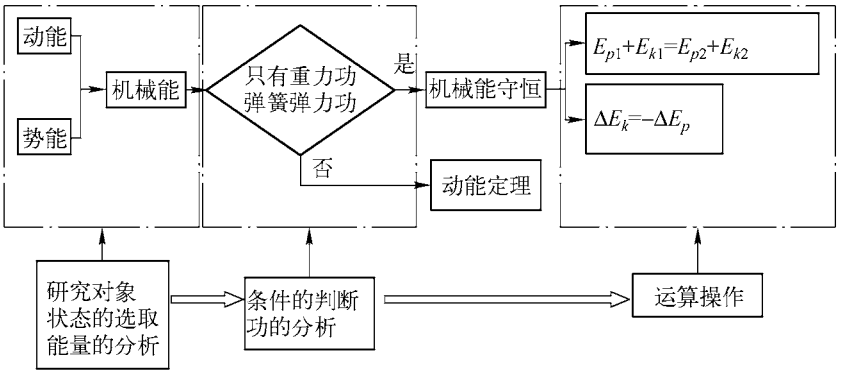
方法的形成

★归纳的方法　标签3

结构图

知识体系　思维操作

机械能守恒知识结构和思维操作流程图

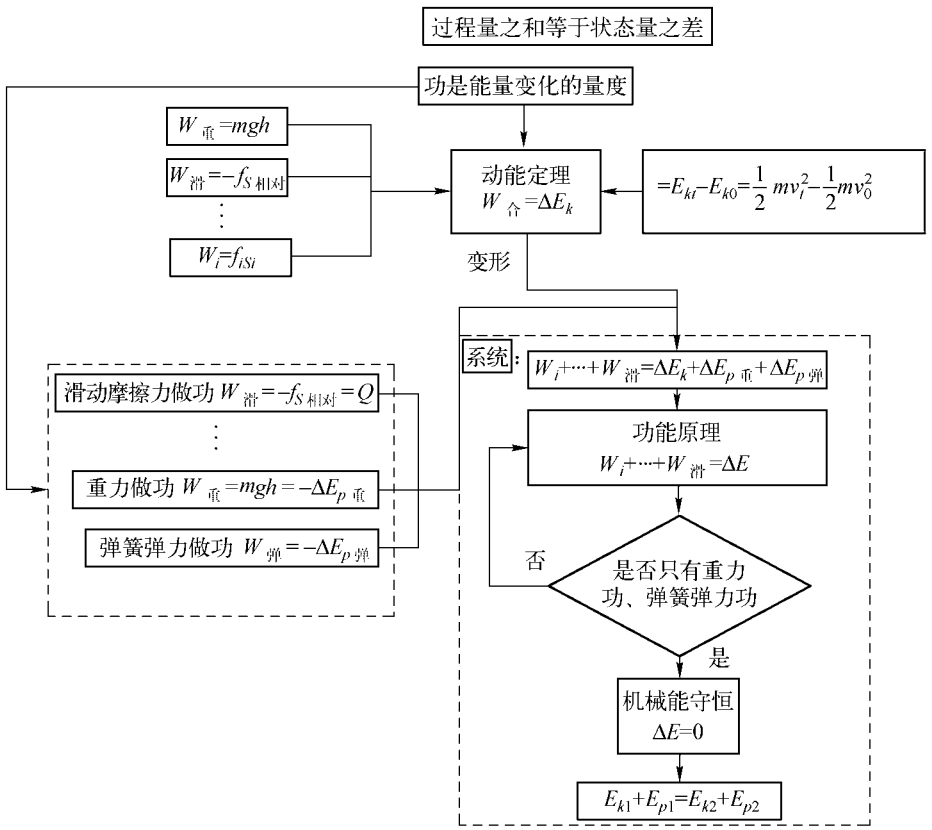


标签1　标签2　标签3

续表

知识体系　　思维操作

功和能知识结构图



三、点拨与提高

机灵鬼：“最近一段时间，我们对物理解题有点糊涂，总有无从下手的感觉，希望艾爷爷能把解决物理问题的一般操作程序总结一下。”

艾爷爷：“好你个机灵鬼，真想把我的老底都掏空啊，那我就说说这方面的问题吧。任何一个物理事件都对应着相应的空间和时间，即研究一个物理问题，首先要明确研究对象是谁，研究对象经过了多长时间，在怎样的空间中，经历了什么样的运动。”

机灵鬼：“我知道了，是不是先画一下情境图啊？关键状态和中间过程该怎么确定？”

艾爷爷：“画情境图这一环节并不是单独进行的，同时要从受力分析入手，以牛顿第二定律为工具对问题进行动态的分析，从而确定每一过程的运动模型，而两个过程的交接点往往就是关键状态了。画情境图有以下三个作用：①受力情况清楚，时间和空间关系一目了然。②状态明确，过程清晰。③将一个复杂的问题拆分成几个简单的问题。”

机灵鬼：“是啊，我感觉到并不是记住公式和规律就能把物理学好了，重要的是要注重对过程的分析和方法的积累，如果按照您的要求把物理过程分析清楚了，往后对规律的选择就简单了。”

机灵鬼：“最近我们学习了好多的规律，阿芳和阿牛也都有点犯糊涂了，希望艾爷爷在这方面能给一点指导。”

艾爷爷：“是啊，学完了能量观点解题之后，我们脑子里的规律多了，遇到的问题往往也更复杂了，我们有必要在这里总结一下了。先把我们学习的主要规律梳理一下吧。”

牛顿第二定律 $F_{合}=ma \xrightarrow{v_t^2-v_0^2=2as} W_{F_1}+W_{F_2}+\cdots=\Delta E_K \xrightarrow[\text{重力或弹力做功}]{\text{在系统内，只有}}$ 机械能守恒定律

艾爷爷：“要会运用规律，就必须要会推导规律，从而明确规律与规律之间的关系，同时也要明确规律的适用范围和适合研究的运动，你们能说说吗？”

机灵鬼：“我先说说牛顿第二定律吧。牛顿第二定律适用于宏观、低速（远小于光速）运动的物体，对微观、高速运动的粒子不适用。牛顿第二定律能定量研究匀变速直线运动或者研究某一状态。”

艾爷爷：“你说得没错，但同时也要注意，在用牛顿第二定律解题时，参照物一定是静止的或匀速运动的物体。”

小芳：“我来说说动能定理吧。动能定理虽然是由牛顿第二定律推导出来的，但本质上它是一个客观存在的规律。在高中阶段，其研究的运动的类型要比牛顿第二定律所研究的广得多，可以研究所有的运动类型，但在高中阶段，动能定理只适合研究单个物体。”

艾爷爷：“是这样的，要注意，高中阶段的很多问题，利用牛顿定律虽然解决不了，并不是牛顿定律不好用了，而是因为我们的数学知识没有到位，但我们仍需要利用牛顿定律进行定性的分析。”

阿牛：“我来说说机械能守恒定律吧。机械能守恒定律是能量守恒定律在机械能领域内的体现。定律的研究对象是系统，成立的条件是只有重力或决定系统弹性势能的弹力做功，可以研究所有的运动类型。”

艾爷爷：“我把你们所说的归纳了一下，你们看是不是这样的？见表 7-5-1。

表7-5-1

研究对象	运动模型	适用规律及相应的方法
单体	匀变速直线运动	牛顿定律结合运动学规律或者动能定理
	匀变速直线运动	优先考虑运动分解的策略，对分运动用牛顿第二定律结合运动学规律；对合运动用动能定理
	变加速运动	研究过程用定能定理，研究状态用牛顿第二定律
系统	系统内物体的加速度始终相同	运用牛顿第二定律：整体法和隔离法结合运用，往往是先整体后隔离
	系统内的物体都做匀变速直线运动，但加速度不同	①运用牛顿第二定律和隔离法，重要的辅助手段是画两个物体的空间关系图 ②机械能守恒定律
	系统内的物体各做变加速运动	机械能守恒定律

机灵鬼：“通过您的归纳，我们对规律的了解更透彻了。谢谢您了！”

艾爷爷：“不用谢，你们能掌握我给你们讲的东西就是对我最大的回报。你们根据我刚才讲的，能不能把物理解题的流程归纳一下呢？”

十五分钟后，机灵鬼展示了他的物理解题流程图 7-5-5 所示。

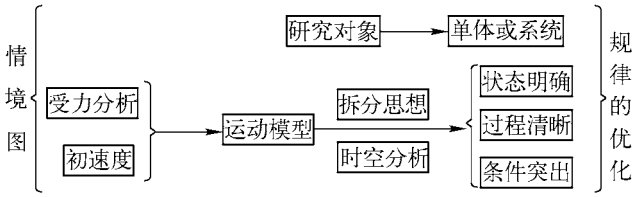


图7-5-5

艾爷爷：“考考你们，请看下面的一个问题。”

机灵鬼：“没问题，看我的吧。”

【例题】一平板车，质量 M=100kg，停在水平路面上，车身的平板离地面的高度 h=1.25m，一质量 m=50kg 的小物体置于车的平板上，它到车尾端的距离 b=1.00m，与车板间的滑动摩擦因数 μ=0.20，如图 7-5-6 所示，今对平板车施加水平方向的恒力，使车向前行驶，结果物体从车板上滑落，车向前行驶的距离 s_0=2m，求物体落地时，落地点与车尾的水平距离 s。（不计路面与平板车间及轮轴间的摩擦，g 取 10m/s^2）

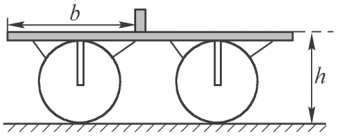


图7-5-6

分析：运用隔离法分别对车和物体进行受力分析如图 7-5-7 所示。

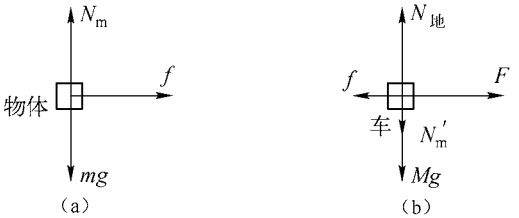


图7-5-7

由牛顿第二定律得

$$f = ma_m$$

物体向右做匀加速直线运动，加速度为 a_m。

$$F - f = Ma_M$$

小车向右做匀加速直线运动，加速度为 a_M。

画出从初状态到物体要脱离小车时的空间关系图如图 7-5-8 所示。

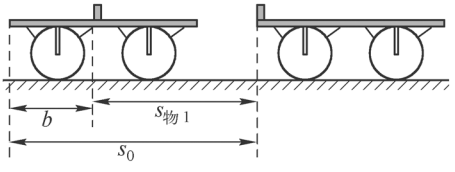


图7-5-8

由图知 $s_0 = b + s_{物1}$，

由运动学规律得 $s_0 = \frac{1}{2}a_M t^2 = 2\text{m}$，$s_{物1} = \frac{1}{2}a_m t^2 = 1\text{m}$

上式联立解得 $a_M = 4\text{m/s}^2$，$a_m = 2\text{m/s}^2$

$F = 500\text{N}$，$t = 1\text{s}$

在脱离瞬间有 $v_m = 2\text{m/s}$ ， $v_M = 4\text{m/s}$ 。

脱离后，物体和车的受力分别如图 7-5-9 所示

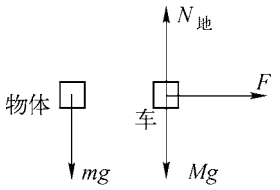


图7-5-9

物体将做平抛运动，小车向右做匀加速直线运动。

对车有 $F = Ma'_M$ 。

此后两者的空间关系如图 7-5-10 所示。

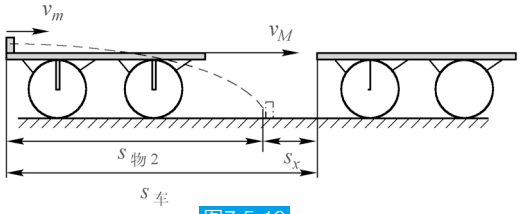


图7-5-10

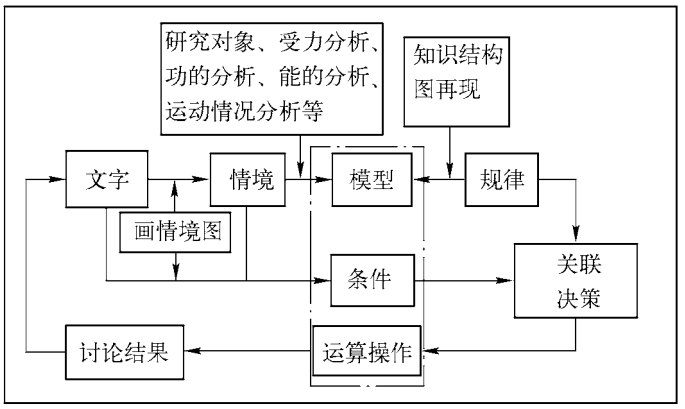
由图知 $s_x = s_{车} - s_{物2}$ ，

对物体有 $h = \frac{1}{2}gt'^2$ $s_{物2} = v_{物}t'$ ，

对车有 $s_{车} = v_M t' + \frac{1}{2}a'_M t'^2$ ，

上式联立解得 $s_x = 1.625\text{m}$

艾爷爷：“这张图是我们运用所学知识解决问题的流程图，仅供你们参考。我相信你们会做出比这更漂亮的适合自己的思维流程图来。”



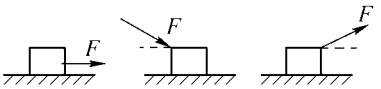
检测篇

一、检测题

1. 质量为 m 的木块静止在光滑的水平面上，从 t=0 开始，将一个大小为 F 的水平恒力作用在该木块上，在 $t=t_1$ 时刻力 F 的功率是（　　）

A．$\frac{F^2}{2m}t_1$　　B．$\frac{F^2}{2m}t_1^2$　　C．$\frac{F^2}{m}t_1$　　D．$\frac{F^2}{m}t_1^2$

2．如下图所示，一个木箱放在粗糙水平地面上，现在用大小相等方向不同的外力 F 作用于木箱上，第一次为水平拉力，第二次是与水平面成 θ 角斜向下的推力，第三次是与水平面成 θ 角斜向上的拉力，三次都使木箱移动了相同的距离，则（　　）



A．三次外力 F 对木箱做的功都相等

B．第一次外力 F 对木箱做的功最大

C．三次木箱克服摩擦力做的功相等

D．第二次木箱克服摩擦力做的功最多

3．关于守恒的判断，有以下叙述，其中正确的是（　　）

① 物体所受合外力不为零，其动能一定不守恒；

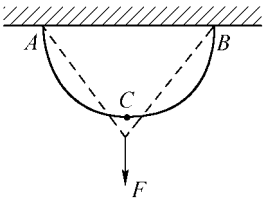
② 物体除重力和弹力外，还受其他力，其机械能一定不守恒；

③ 若合外力对物体做功为零，其动能一定守恒；

④ 若只有重力做功，物体的机械能一定守恒。

A．①②③④　　B．②③④　　C．①③　　D．③④

4．将一质量均匀分布的铁链的两端挂于天花板上的 A、B 两点，如下图所示。今在其最低点 C 将铁链用力缓慢向下拉成“V”字形，则铁链的重心将（　　）



A．下降　　B．升高　　C．不变　　D．无法确定

5．一质量为 1kg 的物体被人用手由静止向上提升 1m，这时物体的速度为 2 m/s，则下列说法正确的是（　　）

A．手对物体做功 12J　　B．合外力对物体做功 12J

C．合外力对物体做功 2J　　D．物体克服重力做功 10J

6. 物体在水平恒力作用下，在水平面上由静止开始运动，当位移为 s 时撤去恒力 F，物体继续前进 $3s$ 后停止运动，若路面情况相同，则物体的摩擦力和最大动能是（　　）

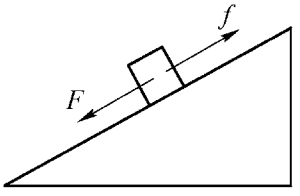
A．$f=\frac{F}{3}$，　$E_k=4Fs$　　B．$f=\frac{F}{3}$　　$E_k=Fs$

C．$f=\frac{F}{4}$　　$E_k=\frac{Fs}{3}$　　D．$f=\frac{F}{4}$　　$E_k=\frac{3Fs}{4}$

7. 某人用力将一质量为 m 的物体，从离地面高为 h 的地方竖直上抛，上升的最大高度为 H（相对于抛出点）。设抛出时初速度为 v_0，落地时速度为 v_t，那么此人在抛出物体过程中人对物体所做的功为（　　）

A．mgH　　B．mgh　　C．$\frac{1}{2}mv_t^2-mgh$　　D．$\frac{1}{2}mv_0^2$

8. 如右图所示，某人以拉力 F 将物体沿斜面拉下，拉力大小等于摩擦力，则下列说法正确的是（　　）



A．物体做匀速运动

B．合外力对物体做的功等于零

C．物体的机械能保持不变

D．物体机械能减小

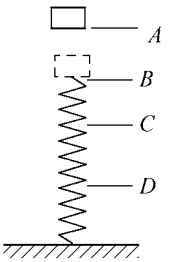
9．一物体从某一高度 A 处自由落下，落在直立于地面上的轻弹簧上，如下图所示。在 B 点，物体开始与弹簧接触，在 C 点，物体合外力为零，到 D 点时，物体速度为零。则下列说法中错误的是（　　）

A．物体从 B 点下降到 D 点的过程中，动能不断减小

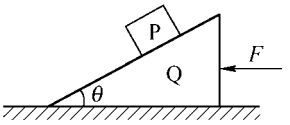
B．物体从 A 点下降到 C 点的过程中，动能的增加量小于重力势能的减少量

C．物体在 C 点，重力势能与弹簧弹性势能之和最小

D．物体从 A 点下降到 D 点的过程中，重力势能的减少量等于弹性势能的增加量



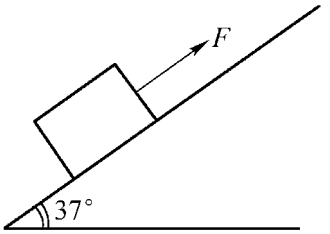
10．质量为 m 的小木块 P 放在倾角为 θ 的斜面体 Q 上，斜面体的质量为 M。开始一起静止置于光滑的水平地面上。现用一个水平推力 F 作用在斜面体上，使 P、Q 一起向左做匀加速运动 s 距离，如下图所示，则斜面体对 P 做的功为（　　）



A．$F \cdot s$　　B．$mgs\sin\theta \cdot \cos\theta$

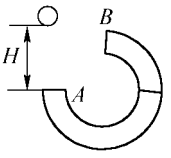
C．0　　D．$\dfrac{mFs}{m+M}$

11．如右图所示，用一个沿斜面的外力 F 拉一个物体，已知拉力 F=80N，物体质量为 10kg，斜面倾角 37°，物体与斜面之间的动摩擦因数为 0.2，物体沿斜面向上移动 4m 的过程中，拉力 F 做的功等于 _____，摩擦力对物体做的功等于 _____，重力做的功等于 _____，支持力做的功等于 _____。（g 取 9.8m/s^2）

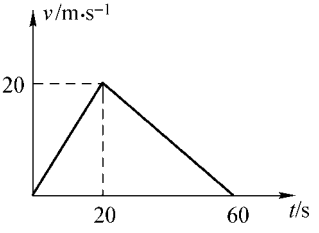


12．起重机以 5×10^3 W 的恒定功率从地面提升质量为 250kg 的物体，上升 5 m时，物体恰做匀速运动，此时物体的速度为 _____，起重机已工作 _____。（g 取 10m/s^2）

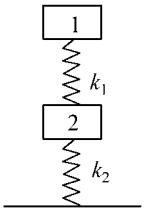
13．一根内壁光滑的细圆管放在竖直平面内，如右图所示，一个小球从管口 A 的正上方高 H_1 处自由下落，恰能到达最高点 B 处；若小球从高 H_2 处自由下落，则它能从 B 处又飞回 A 处，则高度比 H_1:H_2=_____ 。



14．质量为 5.0×10^3kg 的汽车，由静止开始沿水平的直公路行驶，当速度达到某数值后关闭发动机滑行。汽车运动的 v-t 图像如右图所示，在汽车行驶的整个过程中，摩擦阻力对汽车做的功为 _____。



15．如右图所示，倔强系数为 k_1=50N/m 的轻质弹簧两端分别与质量为 m_1=1kg、m_2=2kg 的物体 1 和物体 2 拴接，倔强系数为 k_2=10N/m 的轻质弹簧上端与物块 2 拴接，下端压在桌面上（不拴接），整个系统处于平衡状态。现施力将物体 1 缓慢竖直上提，直到下面那个弹簧的下端刚脱离桌面。求在此过程中，物体 1 的重力势能增量为 ____，物体 2 的重力势能增量为 ____。

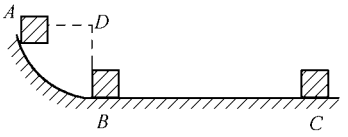


16．如右图所示，光滑 1/4 圆弧的半径为 0.8m，有一质量为 1.0kg 的物体自 A 点从静止开始下滑到 B 点，然后沿水平面前进 4.0m，到达 C 点停止。（g 取 10m/s^2），求：

（1）物体到达 B 点时的速率。

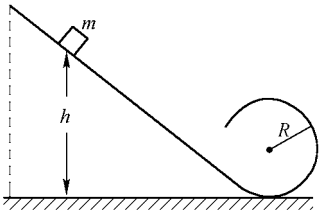
（2）在物体沿水平面运动的过程中摩擦力做的功。

（3）物体与水平面间的动摩擦因数。



17．已知火车质量 M=5.0 × 10^5kg，在一段平直轨道上以额定功率 P 行驶，在 300s 内位移为 2.85 × 10^3m，同时速度由 8m/s 增加到火车在此轨道上行驶的最大速度 17m/s。设火车阻力 f 大小恒定，求：（1）火车运动中所受阻力 f 的大小。（2）火车的额定功率 P 的大小。

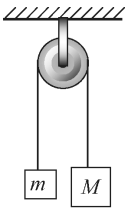
18．如右图所示，位于竖直平面内的光滑轨道，由一段斜的直轨道和与之相切的圆形轨道连接而成，圆形轨道的半径为 R。一质量为 m 的小物体从斜轨道上某处由静止开始下滑，然后沿圆形轨道运动。要求物体能通过圆形轨道最高点，且在该最高点与轨道间的压力不能超过 $5mg$（g 为重力加速度）。求物体初始位置相对于圆形轨道底部的高度 h 的取值范围。



19．一根长细绳绕过光滑的定滑轮，两端分别系住质量为 M 和 m 的物体，且 $M > m$。开始时用手握住 M，使系统处于如右图所示的状态。求：

（1）M 由静止释放下落 h 高时的速度（h 远小于 1/2 绳长，绳与滑轮质量不计）。

（2）如果 M 下降 h 刚好触地，那么 m 上升的总高度是多少？



二、检测题答案

1．C　2．BD　3．D　4．B　5．ACD　6．D　7．ACD　8．C　9．A　10．D

11．320J，−62.72J，−235.2J，0　　12．2m/s，2.6s　　13．4∶5　14．-1.5×10^6 J

15．36J，60J　　16．（1）4m/s（2）−8J（3）0.2　　17．（1）f=2.5 × 10^4 N，（2）P=4.25 × 10^5W

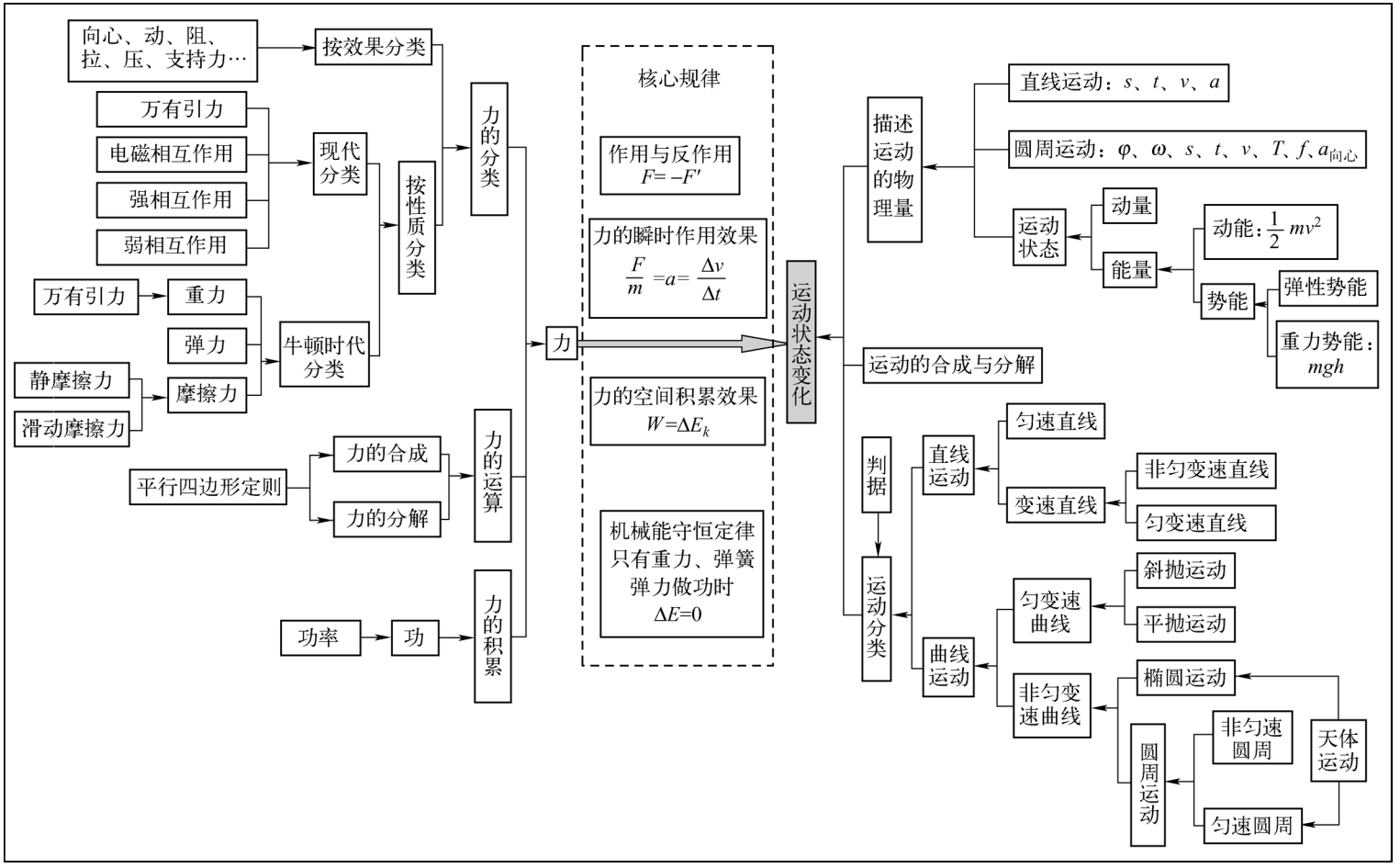
18．$\frac{5}{2}R \leqslant h \leqslant 5R$

19．$v=\sqrt{\frac{2(M-m)gh}{M+m}}$　　$H=\frac{2Mh}{M+m}$

我的收藏夹

附录A

全书知识结构图——力与运动状态变化的关系



注：关于学科方法的归纳和总结请见第七章第五节“点拨与提高”（第391页）

附录B

“四会”索引



第一章

- 会说出物体能否当做质点的判断过程 ……2
- 会用语言表述物体位移的大小和方向 ……9
- 会用语言描述平均速度的大小和方向 ……15
- 会用语言描述加速度大小的含义 ……33

第二章

- 会说出运动员跑步的特点 ……49
- 会说出匀变速直线运动图像的物理意义 ……57~58
- 会说出测量匀变速直线加速度实验的结论和误差分析 ……74
- 会说出自由落体的特点及图像的物理意义 ……81
- 会说出自由落体运动与竖直上抛运动的区别与联系 ……88

第三章

- 会用语言描述弹力方向的判断过程 ……99
- 会用语言描述进度系数的含义 ……104

第四章

- 会说出物体运动状态变化的原因 ……132
- 会以“依据、条件和分析、结论”的方式分析问题 ……133
- 会以“依据、条件和分析、结论”的方式分析问题 ……134
- 会用语言概括课堂学习内容和阐述对控制变量法的理解……140
- 会解释加速度实验中的重物重力近似等于小车拉力的原因……141
- 会用语言分析实验图像反映的加速度与力的关系 ……143
- 会用语言分析实验图像反映的加速度与质量的关系 ……144
- 会解释不同质量物体做自由落体运动加速度相同的原因……149
- 会用语言分析羽毛在空气阻力作用下下落的运动过程 ……150
- 会说出什么是力学单位制及国际单位制中的基本单位 ……153
- 会依据性质的不同判断作用力和反作用力及平衡力 ……160
- 会用语言分析上升热气球上掉落物体的运动 ……166
- 会运用函数分析法分析临界条件并用语言加以阐述 ……172
- 会用语言解释测量重力的原理 ……181

第五章

- 会说出物体做曲线运动的条件 ……196
- 会用语言表述研究平抛运动的方法和平抛运动模型的规律 ……213
- 会用语言描述匀速圆周运动的特点和匀速圆周运模型的规律 ……234
- 会说出做圆周运动的物体所受向心力的来源 ……250

第六章
- 会对着行星绕太阳运转的情景图描述万有引力定律的内容 ……293
- 会讨论不同轨道上卫星的空间关系，速度关系 ……320
- 会讨论低轨卫星、同步卫星、高轨卫星和极地卫星的轨道关系和速度关系 ……321

第七章
- 会表达功率恒定时汽车的起动过程 ……350
- 会表达牵引力恒定时汽车的起动过程 ……351
- 会描述重力做功和重力势能变化量之间的关系 ……359
- 会描述重力做功的特点 ……360
- 会描述动能的大小 ……368

会画图

第一章
- 会建立一维坐标系 ……3
- 会建立二维坐标系 ……4
- 会在时间轴上标注时间和时刻 ……8
- 会用坐标系描述物体的运动过程 ……9
- 会根据物体的位移绘制平均速度 ……15
- 会在同一情境图中表示位移和时刻 ……17
- 会绘制速度 – 时间图像 ……24
- 会根据矢量减法画出加速过程的速度变化量 ……33
- 会根据矢量减法画出减速过程的速度变化量 ……37

第二章
- 会画出最简单的变速直线运动的图像 ……51
- 会画出匀变速直线运动的图像表述 ……57、64、76
- 会画出自由落体运动的 *v*–*t* 图像 ……81
- 会画出竖直上抛运动的 *v*–*t* 图像 ……82

第三章
- 会根据力的作用效果对力进行分解 ……123

第四章
- 会画小车减速至停止过程的受力与运动分析图 ……132
- 会画加速度实验中重物的受力与运动分析图 ……141
- 会画出物体做自由落体运动的受力与运动分析图 ……149
- 会运用隔离法画出物体不同运动情况下的受力分析图 ……167

第五章
- 会画出抛体运动不同位置的受力分析和运动分析图 ……196
- 会画出平抛运动物体某时刻的分速度（分位移）与合速度（合位移）的关系……212
- 会把立体图转化为平面图 ……233
- 会建立研究曲线运动的二维坐标系 ……241

◆ 会画出做圆周运动物体运动的轨迹平面和圆心位置 ……262
第六章
◆ 会画行星围绕太阳旋转的情境图 ……281
◆ 会画卫星变轨过程的情境图 ……326
第七章
◆ 会通过画图对恒力功进行分析 ……336
◆ 会通过画图分析功率 ……347
◆ 会通过画图分析重力功 ……358
◆ 会通过画图，对过程和状态进行分析（1） ……369
◆ 会通过画图，对过程和状态进行分析（2） ……371
◆ 会通过画图，对过程和状态进行分析（3） ……381

会实验

第一章
◆ 会在纸带上选取合适的点迹 ……22
◆ 会根据纸带上的点迹计算小车的瞬时速度 ……22
◆ 会确定点迹对应的时刻 ……23
◆ 会用表格记录数据 ……23
◆ 会利用图像处理实验数据 ……24
第二章
◆ 会从物理规律中找到求加速度的原理 ……66
◆ 会根据数据描点作图求出加速度 ……69、74
◆ 会分析实验的绝对误差和相对误差 ……77
第三章
◆ 会根据实验目的和实验原理确定需要直接测量的物理量 ……101
◆ 会根据直接测量量和间接测量量设计记录数据的表格 ……102
◆ 会利用图像探究弹簧弹力和伸长量之间的关系 ……103
第四章
◆ 会根据给定的实验器材和实验目的设计实验 ……142
◆ 会利用表格记录实验数据 ……142
◆ 会利用图像处理实验数据 ……143
◆ 会利用改变图像坐标轴验证反比例函数关系 ……144
第五章
◆ 会通过实验研究平抛运动的竖直分运动和水平分运动的特点 ……224
◆ 会用描迹法画出平抛运动的轨迹 ……224
◆ 会通过描绘平抛运动轨迹计算初速度 ……224
第六章
◆ 知道用扭称测量万有引力常量实验的装置和实验过程 ……305

会操作

第一章

- 会利用速度－时间图像描述物体的运动 ……25
- 会根据速度－时间图像的斜率求解平均加速度 ……35

第二章

- 会按照流程判断与匀变速直线运动 ……50
- 会利用纸带判断物体是否做匀变速直线运动 ……68
- 会利用图像判断物体是否做匀变速直线运动 ……69
- 会利用公式判断物体是否做匀变速直线运动 ……69
- 会按照流程解决匀变速直线运动问题 ……58、59、61、62、64

第三章

- 会在图像中利用“轴、点、线”的顺序探究弹簧弹力大小的规律 ……103
- 会根据静摩擦力、滑动摩擦力的规律分析实际问题中摩擦力的大小 ……110
- 会按照“规律、条件、结果”的过程分析滑动摩擦力的方向 ……112
- 会按照“规律、条件、结果”的过程分析静摩擦力的方向 ……114
- 会根据力的平行四边形定则和利用图示法求两个力的合力 ……121

第四章

- 会利用符号角标操作区分作用力和反作用力及平衡力 ……161
- 会运用图形分析法的操作程序分析力的变化过程 ……168
- 会依照规范的解题思路分析物理过程 ……182
- 会依照规范的程序绘制情境图 ……185

第五章

- 会根据“实验目的”“实验原理”“实验操作”“误差分析”分析实验问题……225

第六章

- 会使用开普勒第三定律讨论行星运动问题 ……281
- 会使用万有引力定律讨论行星运动问题 ……292

第七章

- 会求解恒力功大小 ……337
- 会求解往返过程中的重力功和阻力功的大小 ……339
- 会求解平均功率和瞬时功率 ……348
- 会对机车起动过程进行分析 ……352
- 会求解重力势能 ……358
- 会运用动能定律分析物体运动状态的变化 ……369、372
- 会运用机械能守恒定律分析物体运动状态的变化 ……382、384

后　记

转眼一年过去了，这本集众人智慧与期望的书终于出版了。

我们花了五个月的时间对学生、教师、市场做了调研，对到底一本什么样的辅导用书才能对学生的物理学习有所帮助,进行了反复的探讨。同时还利用一些方便条件做了一些局部的尝试。我们认识到：“按照物理规律的形成过程教物理，按照学生的认知规律教会学习”应该是我们写作的出发点。从这里出发，经过一番努力，终于将此书奉献给学生们啦！我们怀着忐忑的心情，期待着它能给孩子们带来学习的快乐。“物理挺好玩的！”那将是对我们最大的褒奖。

本书的写作得到了闫金铎教授、郭玉英教授、续佩君教授、卢慕稚副教授的悉心指导。中国科学院地球物理所前所长、研究员、博士生导师徐文耀，中国科学院心理所吴瑞华研究员，特级教师张继达、孟卫东、苏明义，高级教师张绍田、王华，以及山东、黑龙江同行于传普老师、申国平老师在百忙之中审阅了本书，做出了中肯的评价，提出了宝贵的意见。对此，我们再一次向他们表示感谢！

在本书的写作过程中得到首都师范大学物理系硕士研究生肖骁、何静的大力支持和帮助，也得到刚上高中一年级的小朋友张思轩、王嘉欣的帮助。对此，我们也向他们表示感谢！同时也向参与了前期调研和中期试用的首都师范大学附属中学 2007 级的 1 班和 2 班、2008 级的 4 班，以及 2009 级的 6 班和 8 班的同学表示感谢！

在教育改革的大潮中，我们本着谨慎和负责的态度写作了此书，为的是在指导学生学习知识的同时，帮助他们掌握一套既符合物理学规律、又符合该年龄段学生认知规律的学习方法，进而让孩子们在浓浓的物理文化氛围熏陶中，提高他们自身的基本科学素养。这是我们的愿望，也是我们继续前行为孩子们做一些力所能及的好事的动力。

王邦平写于全国教育工作会议次日